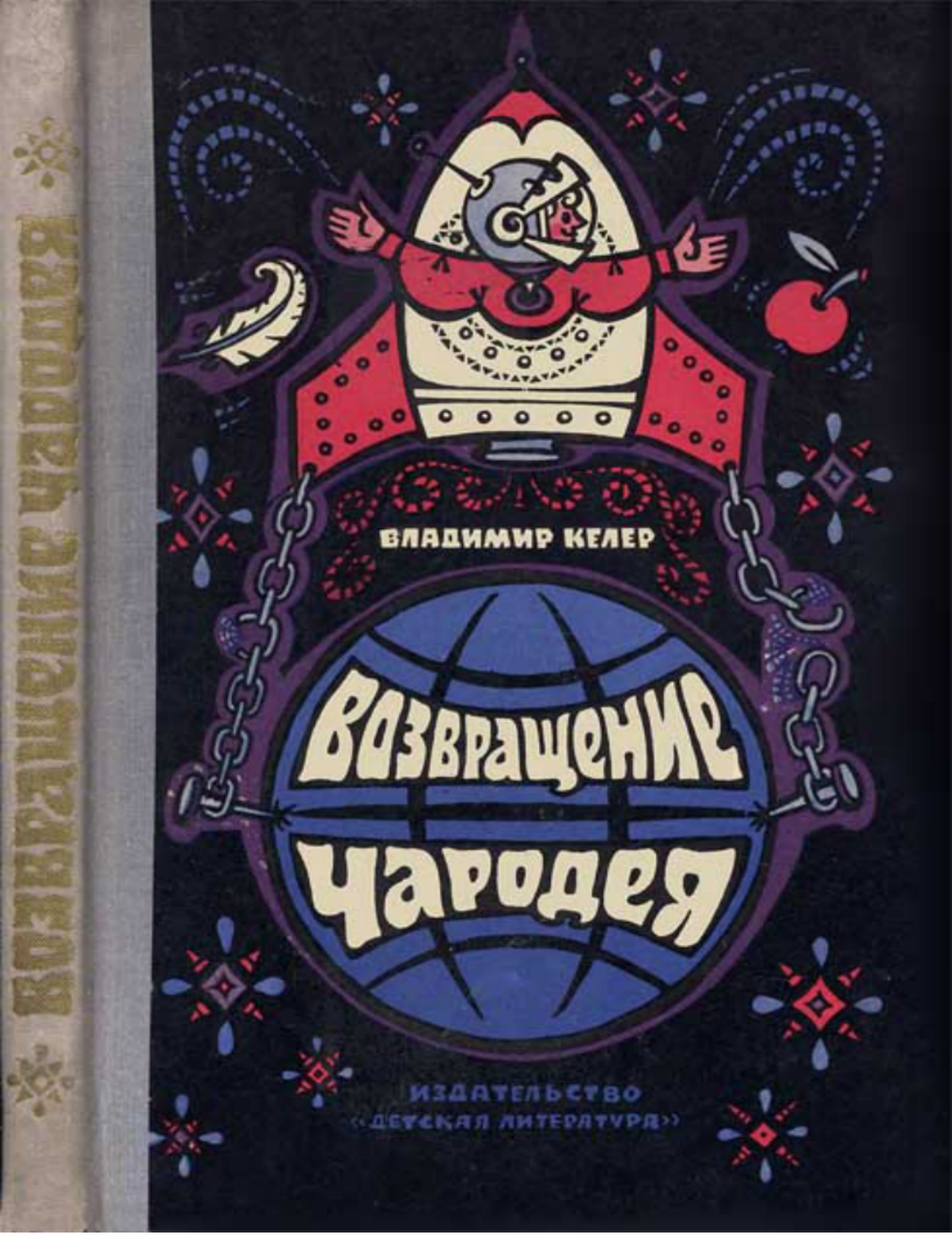

ВЛАДИМИР КЕЛЕР
ВОЗВРАЩЕНИЕ ЧАРОДЕЯ
ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ДЕТСКАЯ ЛИТЕРАТУРА»

SHOUT
SHARE
IT

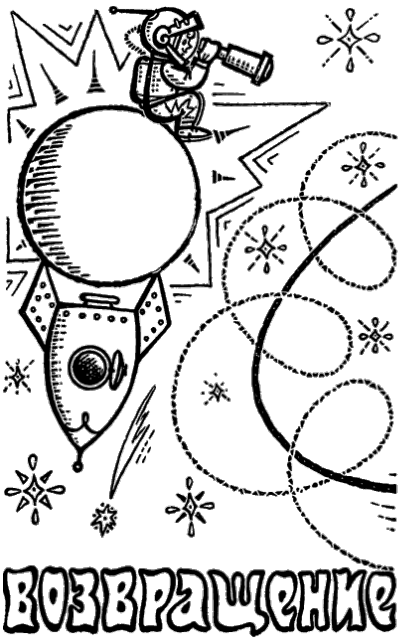
Annotation

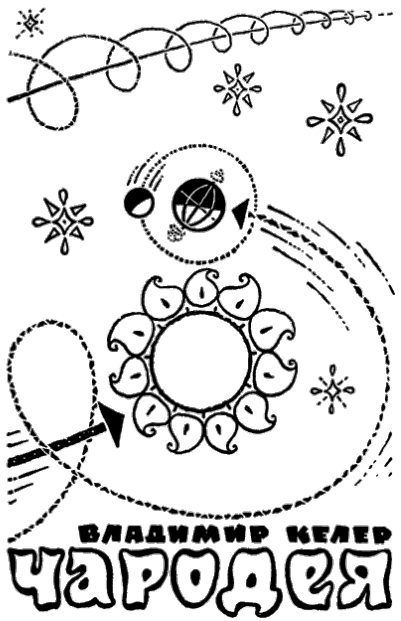
Эта книга — увлекательный рассказ о научном познании окружающего мира. Она знакомит школьников 8–10-х классов с широким кругом вопросов классической и современной физики. Много интересного узнают ребята о законах механического движения, об энергии и ее источниках, о различных состояниях вещества, о законах движения в микромире и не решенных еще научных проблемах.

- Келер Владимир Романович
  -
  - Как человек учился изучать природу
    -
    - Бесстрашие на заре
    - Как ищут истину
    - Великая сила «пустяков»
    - Ненасытность науки
    - Труднее или легче сегодня изучать науку?
    - Ненасытность разума
    - Открытия не умирают
    - Наукой должны заниматься только честные, добрые люди
  - Как приближенные представления о движении становились все точнее
    -
    - Почерк природы
    - Истинность предметных представлений
    - Аристотель и Галилей
    - «Быстрый разумом»
    - Законы Ньютона
    - «Покорный вектор» — величайшее изобретение человечества
    - Тяготение в элементарном смысле
    - «Вождь великой относительности»
    - Ограниченность классической механики
  - Как познавались законы и открывались тайники энергии
    -
    - Путаница и разъяснение понятий
    - Превращение энергии
    - Красный цвет
    - Три качества

        - Спектр энергии
        - Беспорядок, который нас пугает, а должен бы, напротив, радовать
    - Как в новых формах возродилось древнее учение о четырех стихиях
        -
        - Облака — начало и примитив всего
        - Твердое — первое состояние вещества
        - Жидкое — второе состояние вещества
        - Газообразное — третье состояние вещества
        - Плазменное — четвертое состояние вещества
        - Волшебный вкус квинтэссенции
    - Как человеческая мысль преодолела барьер невидимого мира
        -
        - Масштабные эффекты
        - Три бесконечности учения о мерах
        - В мире квантов
        - С. И. Вавилов и предвидение открытий
        - Рубиновая молния
        - За символами математики
        - Человек, теория относительности и космос
    - Как законы сохранения подняли престиж неизменного в природе
        -
        - Постоянное в потоке
        - Галерея генералиссимусов
        - Законы сохранения и симметрия мира
        - Возвращение чародея
- notes
    - 1
    - 2

Келер Владимир Романович
Возвращение чародея





Рисунки Ю. Макаренко

Как человек учился изучать природу

Бесстрашие на заре

Когда человек еще не был человеком, а был диким зверем, на него ополчилась вся природа. Не найти в те времена существа несчастнее человека. Лишенный острых клыков и когтей, не имеющий массивных рогов или копыт, он был слабее хищников. Он даже не мог убежать от них, так как не умел быстро бегать. Детство — самый нежный и самый хрупкий период жизни — у него протекало гораздо дольше, чем у других животных, и он в тот период легко становился добычей тигров.

На человека восстали и стихии, от них он тоже был почти ничем не защищен. По злой иронии судьбы, в отличие от других животных, у него шерсть покрывала больше грудь, чем спину; уткнув в колени лицо, кочевник доисторических времен дрожал и вскрикивал во сне от леденящих ветров. Он слишком медленно убегал от стихийных бедствий. Птица улетала при землетрясении, таежный зверь, почуяв запах гари, проворно находил дорогу к спасительному водоему. Движения же человека были замедленны. Они замедлялись и слабостью мышц и силой его любви к детенышам, которых он никогда не бросал в несчастье. Человеческая любовь к семье и роду всегда была сильнее смерти.

Нельзя сказать, чтобы стремительные и точные движения его врагов не вызывали в человеке никаких защитных реакций. Существует так называемый закон Карпентера (по имени английского физиолога прошлого столетия Уильяма Бенджамена Карпентера), по которому всякое восприятие движения или даже только представление о движении вырабатывает в человеке слабый импульс (толчок, позыв) к совершению данного движения. Но этот импульс не мог развить в нашем предке физической силы, достаточной для того, чтобы противостоять врагам.

Все слабое в природе отмирает. Отмер бы и человек, не обладай он замечательными родовыми свойствами — бесстрашием и живостью воображения.

Благодаря бесстрашию он не пришел в отчаяние от невозможно тяжких невзгод своей жизни. Любое высокоорганизованное животное впадает в панику и при меньших натисках стихий, а человек, казалось обреченный бесповоротно, продолжал искать спасения, пока действительно не нашел его. Ценой неслыханного терпения он обнаружил его в труде. Научившись создавать искусственные органы защиты, он быстро убедился, что они надежнее естественных.

Обладатель гибкого ума, человек в конце концов догадался, что в действительности сильна не сила, а *умение управлять ею*, способность вызывать или сдерживать ее в нужном направлении. Копье — пустяк, пока оно не в руках охотника, а с ним человек сильнее мамонта. Ветер — бесполезная стихия, но, направив его на паруса, люди без плавников и крыльев стали преодолевать просторы океана.

В сущности, человек открыл как бы новую силу природы. Эта сила называется умом и скрывается в сознании человека. Когда люди поняли ее значение, они стали говорить: «Сильный победит одного, умный — тысячу». Необычность новой силы не только в том, что она самая могущественная, но и в том, что, в отличие от всех других сил, ее надо искать не в потоках воды и не в жарком пламени, не в чудесных превращениях химических веществ и не в сокращении мускулов. К уму, к умению управлять силами приходят через познание законов природы, через поиски научной истины.

Многим почему-то кажется, что сам по себе процесс такого рода поисков ничего особенного не представляет: думай, ломай голову и находи! Нет ничего ошибочнее подобной точки зрения. Шахтеры, чтобы выдать уголь на-гора, применяют сложный инструмент — от отбойных молотков до хитроумнейших комбайнов. Человек, пытающийся познать закон природы, добьется результата только в случае, если овладеет своим специальным инструментом — *научным методом*.

Он отличается от созданных руками человека. Но, как всякий инструмент, и этот развивался с течением веков.

Метод поискав истины, которым пользуются ученые наших дней, весьма и весьма отличен от метода первобытных добытчиков знаний.

Как ищут истину

Человек извечно тяготился границами, в которых жил, и всячески старался их раздвинуть. Стремление к Неведомому, к познанию того, что находилось за пределами родного места — дома, области, планеты, — всегда было одним из самых его сильных чувств.

Сперва он просто смотрел по сторонам и цепко запоминал чувственно доступную ему природу. Мир открывался ему в предметах, ни происхождения, ни причин движения которых он и не пытался объяснить. Вернее, он все сводил к действию туманных сил — воли богов и демонов, — и это его вполне удовлетворяло.

Но потом родилась наука. Люди, занимавшиеся ею, старались объяснить явления природы естественными причинами. Для этого надо было искать истину, пользуясь определенными правилами, а не рассчитывая на внезапное озарение.

Одно из самых первых правил ученых гласило: «Наблюдай!»

Наблюдение — очень важный метод науки, без него нельзя представить себе ее развития. Но ведь одного этого — наблюдать — мало, чтобы найти истину. Надо еще сделать правильные выводы из наблюденного.

Живя в деревне, можно ежедневно наблюдать, что после крика петуха восходит солнце. Но ведь не придет же никому в голову сделать вывод: «Солнце восходит оттого, что пропел петух». Это так же абсурдно, как уверять, будто буря на море поднимается из-за того, что морской царь Нептун гневается или, напротив, пляшет. Человек, создавший «петушиную теорию» восхода солнца, должен немедленно заключить, что, когда петуху свернут шею, солнце больше не поднимется.

Скажем так: метод наблюдения хорош, но лишь тогда, когда им пользуются с умом и толково.

Распространенным методом отыскания истины является *обращение к авторитету*, то есть к старшим, или к более опытным, или к более образованным людям. Сам по себе этот метод неплох, как и метод наблюдения. Человечество пользовалось им с незапамятных времен, пользуется и поныне. Школьники, студенты, все вообще любознательные люди наполняют кладовые своих знаний главным образом с помощью авторитетов.

В то же время в методе обращения к авторитету кроется и наибольшая опасность. Основной его недостаток в том, что он ставит познающего в полную зависимость от предполагаемых

знаний поучающего. А тех знаний в действительности может и не быть.

Не всегда «авторитет» оказывается на высоте. Ведь и поныне кое-кто обращается к знахарям и гадалкам, а разве то, что те говорят о будущих судьбах людей, разве их рецепты излечения с помощью заклинаний и колдовства — правда?

Да что там знахари и гадалки! Сколько известно случаев, когда почтенные и много сделавшие для науки люди вдруг в чем-то оступались, утверждали заведомо неправильное, а ослепленные их авторитетом последователи повторяли это.

Великий греческий философ Аристотель (384–322 гг. до н. э.) сказал, например, что у мухи четыре ноги. И почти две тысячи лет все, кто чтил Аристотеля (а его чтил весь образованный мир), вопреки очевидности упорно утверждали то же самое.

Недостатком метода обращения к авторитету является и то, что он не очень-то располагает к творческому мышлению, не толкает к «шевелению мозгами». Пользоваться им всегда — это все равно что не решать самому задачи, а сразу списывать готовый ответ из учебника.

Многие убеждены, что лучшим способом находить истину является *обращение к здравому смыслу*. Само по себе это утверждение протеста не вызывает, оно вполне разумное. Беда в том, что многие расходятся во мнениях насчет того, что́ понимать под здравым смыслом.

Спросите, например, домохозяйку: «Сколько будет 20

миллиардов сантиметров в секунду плюс еще 20 миллиардов сантиметров в секунду?» Голову можно отдать на отсечение, что из ста домохозяек девяносто девять ответят: «40 миллиардов сантиметров в секунду». Так им подсказывают их здравый смысл и знания, полученные в школе. А физик высмеет такой ответ. Он скажет: «Не 40, а только 27,3 миллиарда сантиметров в секунду». И без труда докажет, что он прав, потому что его ответ вытекает из здравого смысла современной физики. Он сошлется на главу современной физики, называемую «Теория относительности», а та исходит из законов природы, многократно проверенных учеными. Сомневающимся такой физик скажет: «Ведь „здравый смысл“ является продуктом человеческого разума, и совсем не обязательно Мать-Природа должна быть устроена именно так, как о ней думают люди» (пример со сложением скоростей и цитату я заимствую из книги американского физика Дж. Орира «Популярная физика»).

Так как же все-таки искать истину? Что в наши дни надо признать самым надежным, самым верным методом науки?

Ответ не односложен. В общем-то, он сводится к тому, что всего надежнее пользоваться сочетанием всех методов: это позволит избежать или сократить недостатки каждого из них в отдельности. Начинать надо с создания достойного теоретического предположения (гипотезы), а закончить обязательно многократной и убедительной практической проверкой.

Подытоживая, скажем. Если ты пожелал найти какую-то неизвестную пока тебе научную истину, ищи ее в такой последовательности:

начни с того, что четко сформулируй свою задачу; сам для себя ответь, что именно тебя интересует, что ты решил узнать;

затем приготовь свою гипотезу; не обязательно тебе придумывать ее целиком: ты можешь обратиться и к авторитету;

затем подумай и получи ответ на вопрос (вот тут-то уж потребуется твоя максимальная самостоятельность): что будет, если ты поставишь опыт и действительно окажешься прав? Как это выразится в опыте? Составь, короче говоря, прогноз;

практически проверь гипотезу. Для физической или химической задачи это будет эксперимент; в математике — написание верного уравнения и решение его; в истории — соответствие полученных выводов всем другим перекрещивающимся свидетельствам истории, и т. д.;

получив практический ответ, сравни его со своим прогнозом;

сделай окончательный, четкий и совершенно честный вывод: прав ли был ты в своих теоретических предположениях или не

прав? Если нет, начни сначала, ко сперва построй уже другую гипотезу (может быть, и не очень сильно отличающуюся от первой).

Главное, ты должен помнить: чтобы все поверили в твое «открытие» (особенно если оно — открытие и для других), ты должен доказать на множестве примеров, что все практические результаты, когда бы и кто бы их ни получал, не противоречат твоим выводам. Тут невозможны никакие компромиссы. Нельзя сказать: «Сто результатов подтверждают мои выводы, не подтверждает лишь один, но это ведь пустяк!»

Одного-единственного «пустяка», не согласующегося с выводами «теории», вполне достаточно, чтобы пустить ее под откос. Дело в том, что природа не знает пустяков. Все в ней происходящее всегда полно глубокого, большого смысла, всегда отражает более или менее непосредственно какую-то *фундаментальную* закономерность.

Великая сила «пустяков»

У Леночки Казаковой может оторваться пуговица от платья, но она от этого не перестанет быть Леночкой Казаковой. Законы науки, особенно законы физики, не допускают ни малейшего неряшества. Воспользовавшись аналогией, можно сказать, что законы физики всегда должны быть застегнуты на все пуговицы, всегда быть предельно аккуратны. Отличительная особенность каждого из них заключается в том, что если он имеет хотя бы одно-единственное, на первый взгляд пустячное, нарушение, то это является абсолютным доказательством, что он не может называться, в рамках принятой схемы изучаемых явлений, законом физики.

«Наш взгляд на мир потребует пересмотра даже тогда, когда масса изменится хоть на капельку, — говорит американский физик Ричард П. Фейнман. — Это — характерное свойство общей картины мира, которая стоит за законами. Даже незначительный эффект иногда требует глубокого изменения наших воззрений».

Было время, когда атомы считали неделимыми частицами материи. Великий английский физик Исаак Ньютон говорил, что они так тверды, что никогда не износятся и не сломаются на куски. Соотечественник Ньютона — химик Джон Дальтон уверял в 1807 году, что атомы неделимы, вечны и неуничтожаемы. Но достаточно было супругам Марии и Пьеру Кюри открыть редчайший на Земле элемент — радий, атомы которого, самопроизвольно взрываясь, выбрасывают из себя два сорта частиц (альфа и бета) и лучи гамма, как все прошлые представления о неделимости атомов пошли насмарку. Теперь мы твердо знаем, что все существующие в природе 88 элементов, и все полученные искусственно 16 элементов, и все другие элементы, которые еще будут созданы, состоят из более мелких частиц и могут превращаться один в другой. Одно-единственное свидетельство делимости атома на примере редчайшего элемента доказало сложность строения всех атомов вообще.

Вряд ли будет преувеличением сказать, что за любым явлением природы таится нечто очень важное и большое. Если этого явления никто раньше не наблюдал, если его воспроизвели, обнаружили искусственно, значит, какой-то проницательный ум раскопал в недрах Неведомого новую, обязательно очень ценную книгу о природе — книгу, которую потом будут читать и разбирать поколения ученых. Честь и хвала находчику наиредчайшего явления! Нет подвига более значительного в науке, чем открытие такого рода.

Замечательный английский экспериментатор и великий труженик науки Майкл Фарадей (1791–1867) читал однажды лекцию в Королевском институте в Лондоне. При этом он подносил к катушке проволоки магнит и показывал, что в катушке возбуждается чуть заметный электрический ток.

«Профессор, — спросила его после лекции одна из слушательниц, — но если даже такой слабый ток и возникает, какое это может иметь значение?»

«Мадам, — галантно ответил ей ученый, — можете ли вы предсказать судьбу новорожденного ребенка?»

В 1900 году, выступая на банкете с речью, посвященной началу нового столетия, английский физик Уильям Томсон (он же лорд Кельвин) говорил о ясном физическом небосводе, который омрачают только два ничтожных облачка: так называемые «отрицательные результаты оптических опытов американских исследователей А. Майкельсона и Е. Морли» и другое явление в науке, известное как «ультрафиолетовая катастрофа».

Не будем останавливаться подробно на сути омрачающих событий. Заметим лишь, что опыты Майкельсона и Морли, начатые в 1881 году, имели целью установить, влияет или не влияет на скорость света (относительно Земли), посылаемого фонарем во все стороны, движение самого фонаря, закрепленного на поверхности Земли и потому летящего в мировом пространстве со скоростью планеты (оказалось, что не влияет; отсюда: «отрицательные результаты оптических опытов»).

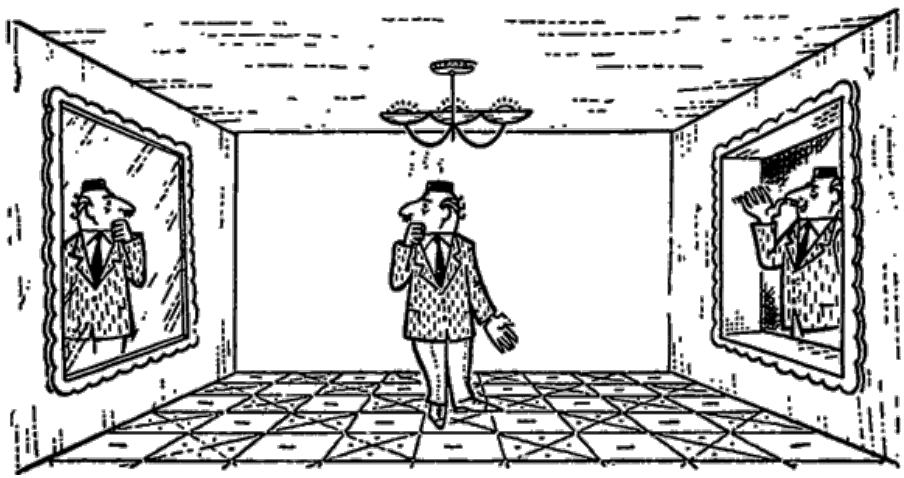
Что касается «ультрафиолетовой катастрофы», то здесь речь шла об одном долго не разрешавшемся противоречии: физика тех лет считала, что энергия делима на любые части, может быть сколь угодно малой, а результаты опытов по тепловому излучению так называемого абсолютного черного тела могли быть объяснены лишь, если допустить, что энергия «зерниста», состоит из очень маленьких и дальше неделимых «атомов энергии» — квантов.

Для нас сейчас интересно, что эти два «ничтожных облачка» породили целый шквал. Теории, возникшие сперва для устранения «пустячных» противоречий старой физики («теория относительности» и «квантовая механика»), потом, развившись, революционизировали и совершенно преобразили физику. «Карлики» оказались могучими титанами, перевернувшими все научное мышление людей.

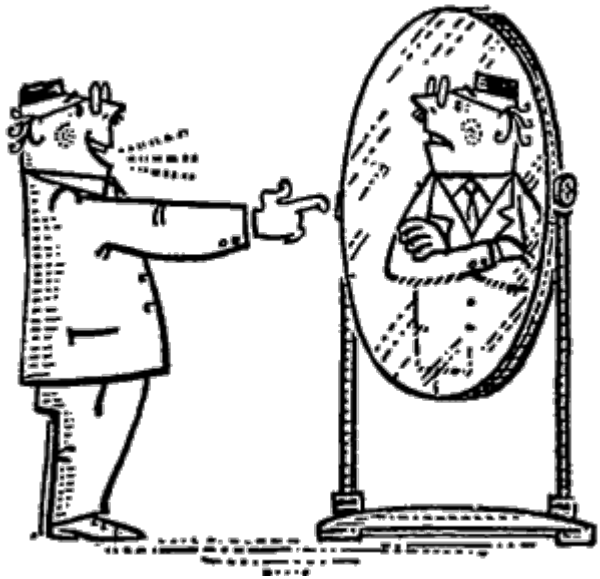
Последний пример возьмем из области физических законов, известных под названием «законы сохранения».

Среди этих законов есть малоизвестный широкой публике

закон сохранения *четности*. Его суть можно изложить примерно в следующих выражениях. Представьте, что вас привели в закрытую маленькую комнату, на одной стене которой укреплено превосходно сделанное зеркало, а прямо против него в другой стене прорублено таких же размеров, как зеркало, окно. За окном молчаливый лаборант ставит какой-то — любой! — физический опыт. Так как окно окаймлено такой же рамкой, что и зеркало, то вы не можете догадаться, с какой стороны реальный опыт за окном, с какой — его зеркальное отражение. С утверждением о том, что вы принципиально не сумеете отличить реальности от отражения, и связан закон сохранения четности.



Но вот в 1956 году два американских физика, Ли Чжэнь-дао и Янг Цзун-нин, показали теоретически (а несколькими месяцами позднее их теорию подтвердила и практически американка профессор Ву), что есть, по крайней мере, один «пустяковый» случай, когда закон сохранения четности не соблюдается. Это происходит при распаде некоторых радиоактивных ядер, сопровождающемся испусканием электронов. Оказалось, что электроны вылетают преимущественно в одну сторону по отношению к так называемому собственному вращению ядра. Значит, посмотрев на это явление и на его отражение в зеркале, можно сказать точно: «Вот это — настоящий, реальный опыт, а это — всего лишь отражение его в зеркале».



Редчайшее нарушение фундаментального закона! А его, этого нарушения, оказалось достаточно, чтобы «убить» целиком закон, во всяком случае показать его ограниченность.

Открытие Ли и Янга потрясло весь ученый мир и было признано столь значительным, что в следующем же году обоим физикам присудили высшую научную награду Западного мира — Нобелевскую премию.

Ненасытность науки

Отсутствие пустяков, существенность любого, хотя бы наиредчайшего и самым слабым образом выраженного явления — таков окружающий нас мир в глазах науки. Уважение к «мелочам» — одна из важных ее особенностей. Другая важная особенность науки наших дней — взгляд на мир как на необъятное поле поисков. Отсюда ее всевозрастающая активность, ее стремление развернуть на этом поле побольше работ, побольше вбить заявочных столбиков.

В огромной степени, надо думать, вторая особенность науки вытекает из первой, является ее неизбежным следствием: когда серьезно относишься ко всему, тогда мир для тебя богаче красками. Выбирай любой оттенок, посвящай себя тому, к чему у тебя лежит сердце; если твое призвание — быть ученым, ты убедишь всех, что избранная тобой дорога — дорога не в никуда, а к благодатной цели.

От обилия дорог в науке — обилие хороших условий для утоления различных творческих симпатий, от утоления симпатий — хорошие научные результаты.

Сегодня часто приходится слышать, что рост научных результатов напоминает рост лавины. Веками наука развивалась еле-еле, как будто одинокий камень катился с пологой горы, то замирая на одних участках, то незначительно ускоряясь на других. И вдруг все переменилось. Словно увеличилась крутизна, определяющая движение. Одно открытие стало порождать два, три, множество других; от скромного числа объектов изучения (химических веществ, биологических видов и т. д.) отдельные науки перешли к большим их совокупностям.

Вот несколько примеров. В эпоху Аристотеля было описано 454 вида животных. Сегодня известно более полутора миллионов животных видов и известно также, что на Земле еще предстоит открыть примерно два миллиона видов.

Древние греки и римляне знали лишь одну кислоту — уксусную — и семь металлов: золото, серебро, медь, железо, олово, ртуть, свинец. Теперь только естественных, встречающихся в природе веществ открыто более трех тысяч. Еще около трех с половиной миллионов химических соединений получено искусственно. И количество тех и других все время растет, особенно искусственных в области химии высоких полимеров: искусственных волокон, пластмасс, каучуков.

Все ускоряясь и усложняясь на первый взгляд, надвигаются на человеческий ум новые понятия, рожденные в кабинетах и

лабораториях ученых. Тысячелетиями люди имели дело лишь с явлениями, которые раскрывала перед ними сама природа. Каких-нибудь полтораста лет назад они почти ничего не знали об электричестве; только с начала нашего века стали догадываться о тайнах атома; о звуковом кино и о телевидении стали думать как о реальностях лишь в конце 30-х — начале 40-х годов; а о квантовых генераторах и о космических полетах первые сообщения появились только несколько лет назад.

Даже выдающиеся физики с полвека назад с трудом представляли себе элементарные частицы. Великий датский ученый Нильс Бор во время своей последней поездки в Москву признавался на встрече со студентами университета:

— Когда Эйнштейн ввел понятие «фотон», мы долго не могли понять, что это значит.

А теперь, когда таких частиц открыто больше двухсот, на повестке дня еще одна ступень в глубь материи, в мир частиц более простых и элементарных, чем элементарные.

Академик Яков Борисович Зельдович, например, отстаивает точку зрения, что следующая ступень приведет в мир «кварков» (в приблизительном переводе с английского — «чертенят» или «бесенят»). Эти ультрачастицы названы так из-за своих некоторых поистине «бесовских» качеств. Например, кварки обладают дробным электрическим зарядом (меньшим, чем заряд электрона). Ничего подобного в природе раньше не наблюдалось. Зельдович убежден, что из кварков состоят все другие частицы, за исключением электронов, позитронов и мю-мезонов.

О быстром росте и усложнении науки можно судить и по количеству научных работ, выходивших раньше и выходящих в свет теперь. В начале прошлого столетия во всем мире насчитывалось только 100 научных журналов и других периодических изданий. Теперь их число приближается к 150 тысячам, а если темпы останутся неизменными, то к 2000 году количество периодических научных изданий на Земле составит около миллиона.

Человечество располагает библиотекой, содержащей около 35 миллионов названий книг, а всего — более 100 миллионов работ всякого рода. Ежегодно в мире печатается 3 миллиона статей, а поисками нужной литературы сегодня заняты сотни тысяч переводчиков и специалистов.

Особенно увеличивается число открытий, гипотез, практических применений теории в области физики. Неудивительно, что соответственно растет и объем научной информации, описывающей все это. Один досужий физик подсчитал, что если бы объем известного американского

физического журнала «Физикл ревью» и дальше рос, как это было сразу после войны, в первые пятнадцать лет (1945–1960), то в XXI веке вес журнала превысил бы вес земного шара.

Невероятно резко выросла за последние десятилетия армия ученых. По темпам роста это напоминает рост настоящей армии при объявлении войны. Подсчитано, что ныне на Земле живет, здравствует и занимается изучением тайн природы ни много ни мало, как 90 процентов от всех когда-либо живших ученых, считая от того безвестного гения, что научился добывать огонь.

Естествен вопрос: против кого же эта необычная мобилизация? Какой «враг» вдруг замаячил на дальних берегах науки?

Имя ему — Неведомое. Парадокс, и прелесть, и несказанная волнующая романтика наших дней в том, что сегодня гораздо больше открывается новых тайн, чем объясняется тайн старых (хотя и это, второе, происходит с огромным, как никогда, успехом).

Та физика, которую мы называем классической, была почти безоговорочно физикой ответов: она отвечала почти на все, о чем ее только ни спрашивали. Она была убеждена, что, за немногим исключением, знает о природе все и что, пройдет еще немного времени, исчезнет и это исключение.

Физика наших дней по преимуществу физика вопросов: в ней чаще спрашивают, чем отвечают, и за каждым развязанным узелком немедленно завязывается несколько новых. Вопросы преобладают над ответами, и разница все возрастает.

Кажется почти невероятным, но это факт, что чем больше современные физики стараются понять природу, тем больше обнаруживают в ней непонятного. Страшного тут нет ничего: ведь непонятное в конце концов обязательно объясняется. Хорошее же в том, что это признак кипучей юности. Много спрашивают, когда энергия бьет через край; само обилие вопросов — свидетельство обилия могучих духовных сил.

Будет ли так продолжаться дальше? За рубежом многие отвечают: «Нет». По их мнению, в один прекрасный день люди разгадают все секреты природы, узнают, какие пружины приводят в движение все вещи, откроют тайны всех явлений. Ученым тогда, в сущности, нечего будет делать. Наука отомрет, а поисками новинок будут заниматься исключительно техники и инженеры. Эти люди будут брать какие-то раз навсегда открытые принципы науки, сравнивать их между собой и в сочетании старых принципов искать новые практические осуществления. Прогресс в те будущие времена будет напоминать игру «Конструктор», только вместо готовых деталей там будут предлагать готовые научные идеи.

Один довольно известный американский ученый профессор Дерек Прайс на этом основании создал даже теорию, которая называется теорией сатурации (насыщения). По расчетам Прайса, еще лет тридцать наука будет развиваться такими же темпами, как сегодня, то есть очень быстро. Но затем в течение тридцати лет темпы ее станут все больше замедляться, и вот примерно в 2020–2030 году окончится век наук. Пытливым душам нечего будет больше искать; они должны будут срочно переключать свои стремления на что-нибудь иное.

Верно ли это хоть в какой-то степени? Разумеется, неверно, и ни в какой степени. Марксизм-ленинизм учит, что природа неисчерпаема и бесконечна. А так как она еще и познаваема на всех ступенях, то нет предела увеличению человеческого знания.

И через шестьдесят, и через тысячу шестьдесят лет, и в любом, сколь угодно удаленном от нас будущем люди будут открывать и познавать все новые миры. Наука ненасытна и всегда найдет себе достаточную пищу. Другой вопрос — всегда ли ее развитие будет напоминать лавину!

Вероятно, лучше это развитие сравнивать со стадийным ростом дерева. Он продолжается и летом и зимой, но есть различие естественное и неизбежное. Сейчас наука в полосе весны. Могучий ее ствол стремится к небесам, а плодоносная, наполненная соком крона разбрасывается и густеет.

Труднее или легче сегодня изучать науку?

Быстрый рост наук многих не радует, а пугает. Им кажется, что человеку с каждым годом будет все труднее изучать науку, узнавать хотя бы о важнейших достижениях ее.

«Когда-то, — говорят эти люди, — чтобы быть в курсе дел какой-нибудь отрасли знания, достаточно было прочитать десяток-другой книг. Сейчас же число статей и книг на любую тему растет куда быстрее, чем человек в состоянии их осилить. Мы обречены все больше отставать от открытий и находок».

Звучит тревожно, а похоже, так оно и есть. Возьмем хотя бы вот такой пример. Учебник физики для средней школы состоит из 160–300 страниц. Даже его один прочитать и хорошо понять — дело не для всех простое. Обычно на это тратится по меньшей мере год. А как быть, если хочешь оказаться на переднем крае физики? На физические темы написано сейчас несколько десятков тысяч книг, и в каждой содержится что-то интересное — такое, чего не найдешь в других книгах. Правда, на помощь специалистам-физикам и серьезным ее любителям приходят рефераты — краткие обзоры вышедшей литературы, лоцманские ориентиры в книжном море. Но, во-первых, пользоваться ими не всегда легко. Во-вторых, и этот метод оказывается недостаточным; число рефератов растет, и поговаривают о рефератах на рефераты, иначе говоря, о рефератах в квадрате…

По мнению пессимистов, положение тем серьезнее, что человек от природы обладает будто бы скверной памятью: чтобы что-нибудь запомнить, он должен медленно читать, много раз повторять, записывать прочитанное, зубрить.

И все же оснований для тревоги нет никаких. Люди, даже без поддержки рефератов, могут быть в курсе наиважнейших и наиновейших представлений науки.

К ошибочным, грустным выводам приходят обычно из-за того, что путают два рода научных результатов — основные принципы науки (которых очень мало и которые легко понять и все запомнить) и то, что следует из этих принципов практически или теоретически: устройство научных приборов и инструментов; применение на практике — на заводах, на полях, на транспорте, в домашней жизни; содержание статей и книг; результаты опытов; новые гипотезы; поставленные, но не решенные пока проблемы, и т. д.

А ведь только первые являются основными носителями духа современной науки. Вторые — это детали, интересующие преимущественно специалистов.

Знать и понимать науку — это прежде всего знать и понимать ее основные принципы. А здесь мы вправе сделать самые оптимистические выводы. Вопреки тому, что думает, пожалуй, большинство, основные принципы науки все упрощаются и уменьшаются в числе.

Правда, упрощаются не в том смысле, в каком упрощает художник мир, когда начинает рисовать его лишь одной краской. А в том — противоположном — смысле, в каком он получается у художника, увеличивающего число оттенков. Такое «упрощение» означает, что видение мира становится все отчетливее: более богатый набор красок (а у науки он особенно велик) позволяет изобразить мир гораздо глубже и яснее.

Проиллюстрируем это на нескольких примерах.

…Сложнейшей из наук называют часто физику. В действительности основных законов физики очень мало и они просты (правда, простотой, предполагающей постепенное, шаг за шагом, изучение многих необычных явлений и углубление в мир идей, кажущихся зачастую несовместимыми со здравым смыслом). Можно понять известного американского исследователя Ричарда Фейнмана, заметившего недавно, что «успехи современной физики объясняются, быть может, ее легкостью».

Возьмем, например, такие разделы физики, как свет и электричество. Во многих учебниках они излагаются как самостоятельные, не связанные между собой разделы. На самом деле между ними есть глубокая, открытая еще сто лет назад связь. Сперва ее выявили через теорию электромагнитного поля, позднее установили и еще одну связь — через так называемую квантовую механику — главу физики, возникшую в значительной

степени под влиянием учения о свете.

Особенно наглядно связь между электричеством, светом и квантовой механикой может быть продемонстрирована при помощи «простого» (увы, только воображаемого) опыта, для которого нам понадобится всего три предмета: пластмассовая школьная линейка, тиски и кошачья (или другая подходящая) шкурка.

Зажмем линейку в тиски, потрем ее выступающий конец шкуркой, чтобы вызвать электростатический заряд, и приступим к опыту. Он будет заключаться в том, чтобы придавать чем угодно — пальцем, палочкой и т. д. — линейке колебательные движения. Частоту, то есть число колебаний в единицу времени (лучше всего в секунду, тогда это будут просто герцы, сокращенно *гц*), станем изменять, наблюдая при этом, какой эффект во внешней среде произведут колебания.

Всякое периодическое движение электрического заряда порождает электромагнитные волны той же частоты, что и движение. Наша линейка станет излучателем электромагнитных волн. Постепенно увеличивая число колебаний, мы обнаружим любопытную смену явлений.

Начнем с 50 или 60 *гц*. С такой частотой подается переменный ток в наши квартиры. Он излучает волны, которые воспринимаются как помехи для радиоприемников. Автомобилисты замечают их всегда, проезжая мимо линий высокого напряжения. Говорят: «Попал в *поле* помех!»

Поднимем частоту сразу до миллиона герц (или одного мегагерца, сокращенно *Мгц*). Теперь линейка стала излучать радиоволны, в «окрестностях» этой частоты происходят широковещательные передачи. При 50–100 *Мгц* мы попадем в область телевидения, а при 10 000 *Мгц* — в область радиолокации.

В диапазоне от 430 до 700 миллионов *Мгц* линейка заиграет всеми цветами радуги: мы попадаем в область *видимых* электромагнитных волн, проще говоря — света.

Сейчас мы станем увеличивать колебания излучателя и дальше, но прежде отметим про себя, что, начиная от широковещательного диапазона и вплоть до света (включая невидимую ультрафиолетовую область), излучения внешне особенно походили на волны в буквальном смысле слова. Недаром говорят: «Работает радиостанция на *волне* стольких-то метров».

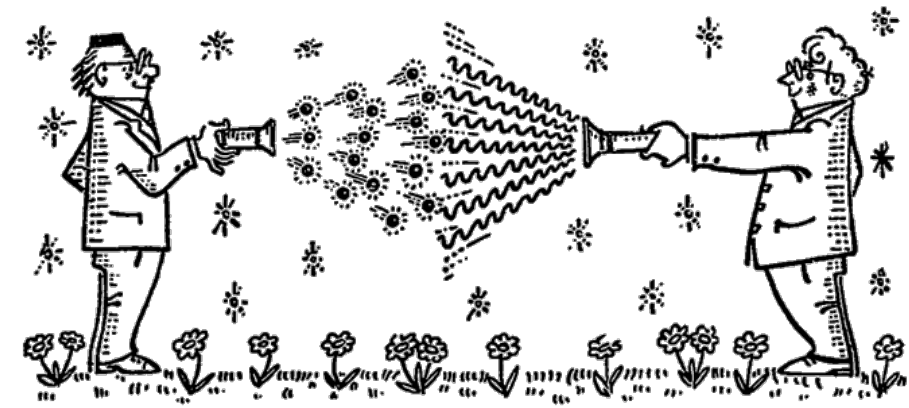
Электромагнитный спектр

Частота (среднее значение)	Название	Внешнее проявление
50—60 *гц*	Переменный ток	Поле
1 *Мгц*	Радиоволны	Волны
100 *Мгц*	Телевидение	
430—700 млн. *Мгц*	Видимый свет	
10^{18} *гц*	Рентгеновы лучи	Частицы
10^{21}—10^{24} *гц*	Гамма-лучи	
10^{27} *гц*	Космические лучи	

Увеличивая колебания излучателя, мы попадем в область рентгеновых лучей и гамма-лучей. Частота, соответствующая этим волнам (как и другим, о которых мы только что говорили), указана в таблице электромагнитного спектра. Показатель степени — это число нулей, которое надо поставить после единицы, чтобы получить частоту в герцах. Все волны названного диапазона «вырабатываются» на различных установках (рентгеновские аппараты, молекулярные и квантовые генераторы, ускорители частиц и т. д.).

А уж следующие в таблице самые высокочастотные из известных нам волны люди вырабатывать пока не могут: с ними ученые имеют дело лишь в лучах, приходящих из таинственных глубин Вселенной, так и называемых «космические лучи».

Для последних групп волн характерно то, что по своим внешним проявлениям они похожи больше на частицы, чем на волны. Поэтому на практике ученые говорят о них чаще именно как о *частицах*, квантах (подробнее о квантах будет сказано дальше).



Итак, к чему же мы пришли, проделав опыт с заряженной линейкой? К тому, что, хотя и наблюдались разные эффекты (поле, волны, частицы), в действительности они одной природы. Только разные частоты отличали их. Электричество, свет, квантовый эффект «превращения» волны в частицу — здесь мы везде имеем дело с одной физической реальностью, именуемой электромагнитным полем.

Много общего можно найти и между другими разделами физики, часто изображающимися в учебниках как совокупность фактов, распиханных по главам, словно по ящикам, стоящим рядом, но отделенным один от другого непроницаемыми стенками. В лучшем случае после долгого объяснения предмета по старым правилам здесь говорят вдруг, что все это неверно, что все надо переучивать по-новому (хорошо еще, если эти новые представления как-то разъясняются). Отсюда «трудность» изучения физики, на самом деле только кажущаяся трудность.

Обратимся к химии. Когда Дмитрий Иванович Менделеев открыл периодический закон элементов, сразу резко упростилось изучение неорганической химии. Стало также ясно, что не только на Земле, но и во всей Вселенной число простейших элементов не может превышать вполне определенного количества (не очень сильно отличающегося от сегодняшнего итога: 104). Ученые получили блестящую возможность предсказывать существование и свойства еще не открытых элементов и соединений.

Другое великое открытие в химии, сделанное Александром Михайловичем Бутлеровым, — так называемая структурная

теория Бутлерова — навело порядок в органической химии. Теперь обе химии на наших глазах сливаются в одну, и эта общая химия стучится в дверь физики, с тем чтобы занять в ней место на правах раздела.

Пример из астрономии. По Аристотелю и Птолемею, Земля — «пуп» Вселенной, а звезды и планеты с бешеными скоростями вращаются вокруг нее. Нельзя сказать, что эта точка зрения не давала никакой возможности правильно рассчитывать движения звезд и планет. Расчеты производились, но до чего они были трудны! Греческие философы учили, что орбиты планет возникают в результате сложных круговых движений по системе окружностей. Для описания орбиты Марса, например, требовалась добрая дюжина окружностей различного вида. Но вот после долгих утомительных вычислений Иоганн Кеплер сформулировал свои простые три закона движения небесных тел. И что же, орбиты всех планет (и спутников этих планет) астрономы стали находить быстро и чрезвычайно точно. Восторжествовал подход, казалось бы, более сложный — планеты движутся вокруг Солнца, — но в действительности это не усложнило, а облегчило решение задачи.

Развитие наук внешне очень напоминает развитие больших городов. И те и другие растут и в чем-то усложняются, ко вместе с тем в них растут организация и порядок. В городах все улучшающаяся система дорожных знаков и сигнализации облегчает ориентировку; в науках отыскиваются какие-то единые, общие принципы, и это облегчает их изучение.

Везде, где вмешивается человеческий разум, Сложность движется вперед рука об руку с Простотой.

Поясним это с помощью аналогии.

Представим себе следующее. Человек вырос в глухой таежной деревушке и вдруг впервые в жизни оказался на московских улицах. Понять его переживания легко. Никакая сказка наяву не потрясет так воображения новичка, как вид большого города. Кто не замрет в испуге, сбитый с толку перекрещивающимися потоками машин, кто с непривычки не растеряется в шуме, сутолоке, в быстрой смене картин напряженной столичной жизни!

А поживет здесь человек и постепенно ко всему привыкнет. То, что выглядело беспорядочным нагромождением вещей, движений, звуков, и для него приобретет черты симметрии и порядка. Он убедится, что, зная законы жизни большого города, в нем заблудиться, может быть, труднее, чем в ином районном центре. В один прекрасный день он сделает открытие, что с ростом городов безопасность в них обычно возрастает. Привыкнув

к ритму новых улиц, он удивится, узнав, что в старину люди чаще попадали под колеса медлительных повозок (как было, например, с первооткрывателем радия Пьером Кюри), чем в современном крупном городе — под колеса автомобилей.

Не похожи ли люди, несведущие в науках, но наслышанные об их «чудесах», на тех робких гостей столицы, чьи сердца замирают на каждом перекрестке? И не так ли сравнительно прост путь и тех и других к познанию основных законов нового для них мира?

Ненасытность разума

Следить за новостями, вылавливать в океане литературы все относящееся к любимой области науки, запоминать, перерабатывать в сознании детали — все это отнимает больше времени, чем изучение основ. Но специалисту это нужно, специалист как раз и ценен накопленными сведениями о деталях; а раз так, значит, существует и проблема: как, тратя меньше времени, вбирать возможно больше сведений (информации).

Нет оснований опасаться, что мозг не выдержит за некоторым пределом: умственная мощность человека, его способность понимать и запоминать практически беспредельны. Представление об этом дают следующие данные. Головной мозг человека состоит из 14–20 миллиардов мельчайших нервных образований — нейронов. Это они — кладовые человеческого ума. А загружено только четыре процента их… Даже принимая во внимание, что часть нейронов мы унаследовали от далеких предков — рыб, ящериц, обезьян, что они являются пережитками, рудиментами, все равно у нас еще огромные запасы неиспользованной умственной мощности. Мы могли бы без особой тренировки уже сейчас запоминать раз в пятнадцать более того, что знаем.

Все же путь простого механического насыщения человеческого сознания деталями, путь узкой специализации — сегодня пережиток.

Можно заметить, что чем у́же специалист, тем сложнее терминология, которой он пользуется, тем непонятнее его язык для непосвященных. Отталкиваясь от других, такой узкий специалист и других отталкивает от своей области, от желания познать ее. Многие рассуждают: «Если уж даже специалисту так трудно докопаться до истины, что он изобретает новые понятия и сочиняет сложные формулы, то мне, неспециалисту, лучше и не подступаться».

Путь узкой специализации недостоин современного человека, потому что принижает его, не увеличивает, а ограничивает общий кругозор: детали вытесняют главное.

Даже самые талантливые люди уже не могут охватить единым взором все здание науки. Но если они все же не стараются это сделать, они невольно наносят ущерб развитию собственного дела: у соседа может оказаться то, что им необходимо для толчка вперед, но толчок не получается из-за незнания соседских дел.

Увлечение деталями суживает специализацию. Отсюда шаг до

положения, о котором говорят: «Этот человек идет к тому, чтобы в будущем знать все ни о чем».

Чтобы стать хорошим специалистом, нужны талант и время. Так рождается парадокс: «Чем способнее человек, тем дольше должен он учиться, чтобы затем наилучшим образом применить свои знания; но пока обучится — состарится и потеряет способность отдавать знания».

Нет, не детали, а большие философские идеи науки должны служить главной пищей ненасытного разума человека нашей эпохи. Только это его достойно, только видение впереди широких горизонтов науки способно дать ему истинное творческое удовлетворение и счастье.

А как же обстоит дело с практической необходимостью знать и детали?

Ответ может быть один: с этим лучше всего справляются машины — электронно-счетные, различные кибернетические устройства и т. п., значит, на них это и надо возложить.

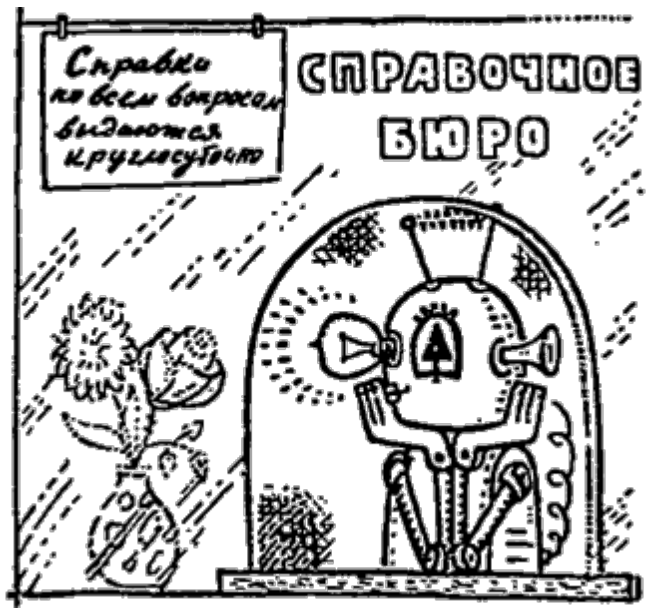
Фактически так и происходит: тенденция современного научно-технического прогресса — перелопачивать второстепенное, отбирать из него при помощи машин все нужное

специалисту.

Машина тем быстрее находит требуемую информацию, чем больше счетных операций производит в секунду. Теперь уже построены и работают электронно-счетные машины со скоростями в сотни тысяч операций в секунду (одна такая машина может «прочитать» в течение часа около десяти миллионов книг). На повестке дня — создание машин со скоростями в миллионы операций в секунду.

На помощь таким сравнительно «тупым» (потому что они механические, «нерассуждающие») искателям информации, по-видимому, в скором времени придут более «умные», «соображающие» машины.

Уже в наши дни создается интеллектроника — машины, выполняющие некоторые виды интеллектуального труда: доказательство сложных теорем, вывод формул, построение обобщающих теорий и т. п. Можно ли сомневаться в том, что в ближайшие десятилетия интеллектроника, ничуть не принижая человека, оставляя ему больше времени для глубокого мышления и тонких радостей, разовьется до фантастических, с нашей точки зрения, возможностей.



Другая важная перспектива — «бинокли для ума». Известно, что у человека процессы ввода информации в сознание совершаются в несколько раз медленнее, чем логические процессы переработки информации, протекающие в мозгу. Еще в десять раз медленнее протекают процессы вывода данных и

команд. Человек медлителен в своих действиях, но он отнюдь не тугодум, напротив: разум быстро принимает нужные решения, только вот нерасторопны помощники — руки и язык. Впрочем, их нельзя винить: уж слишком медленно по нервам (куда медленнее, чем по проводам) идет приказ «сделать то-то и то-то». Если же вдобавок мозг распоряжается: «Да побыстрее!», помощники начинают спешить и, конечно, часто ошибаются.

Не от этого ли такие характерные опечатки машинисток и всех вообще, кто быстро пишет, как перестановка букв в написанном слове («монжо» вместо «можно», «сиал» вместо «сила» и т. п.)? В логическом процессе переработки информации мозг дал правильный ответ, подобрал нужный набор слов и букв, а руки, торопящиеся выполнить приказание, сбиваются и путают.

Ученые приступили к созданию устройств, убыстряющих вводные и выводные процессы мыслительной и нервно-психической деятельности человека. Устройства эти управляются биотоками и в будущем получат, вероятно, такое же широкое практическое применение и распространение, как сегодня бинокли или очки. Только если оптические приборы позволяют во много раз увеличивать силу зрения, то биотоковые устройства пригодятся как «бинокли для ума», точнее — для его оперативной деятельности.

Страх перед чрезмерной специализацией, с одной стороны, перед необходимостью увеличивать сроки обучения людей — с другой, исчезнет с развитием интеллектроники, «биноклей для ума» и прочих хитроумных изобретений кибернетики. Индивидуальная культура, культура личности, будет несомненно повышаться с каждым годом, потому что такова тенденция общественного развития.

На примере своей страны мы видим, что дает человеку сочетание прогресса общества и прогресса техники и наук: больше свободного времени, больше возможности занять его делами, не относящимися к главной специальности трудящегося: спортом, музыкой, слушанием лекций, встречами с интересными людьми и т. д.

Узкая специализация — это нечто вроде детской болезни умственного прогресса человечества. Нет сомнения, что, когда люди вступят в подлинную пору своей зрелости — в эпоху коммунизма, — болезнь эта исчезнет без следа.

Открытия не умирают

Живя в век космоса и атома, естественно равняться на науку этого века. Но нельзя бросаться в крайность — пренебрежительно отвергать все то, что было найдено предшественниками.

Да, «девяносто процентов всех ученых живы, работают рядом с нами». Но если бы мы говорили не о людях, а об открытиях и изобретениях, то назвали бы еще большее число. В своих делах талантливые люди вообще почти никогда не умирают. Сделанное ими обычно живет вечно. Все ценное, созданное в прошлом, остается в активе современности, превращаясь в неотъемлемую часть настоящего.

Со времен Пифагора, например, люди пользуются его открытием, сделанным в VI веке до н. э., что сумма углов плоского треугольника равна двум прямым. Архимед оставил человечеству среди прочих ценных истин и ту, что на тело, погруженное в жидкость или газ, действует выталкивающая сила, равная весу жидкости или газа в объеме тела. А Гиппарх, живший во II веке до н. э., довольно точно вычислил расстояние от Земли до Луны и установил время обращения планет вокруг Солнца (следует заметить, что только восемнадцать веков спустя Ньютон открыл закон всемирного тяготения, объясняющий это движение).

Вероятно, так было не всегда. Многое открывалось и изобреталось лишь для того, чтобы затем стать основательно забытым на десятилетия и даже на века. В наше время — время высочайшей активности научной мысли — такое становится почти невозможным. Поиски науки не ограничиваются больше горизонтальным разрезом действительности. Ученые стараются проникнуть в будущее (научное предвидение), тщательнее, чем раньше, они осваивают идейное наследие прошлого. Иначе говоря, современная наука занимается активно и вертикальным разрезом действительности.

Эволюция научной мысли раскрывается не только как подъем по ступеням, как движение от причины к следствию. Здесь выступает явственно и другое: все более глубокое, более убедительное подтверждение главных истин, найденных предшественниками. Отсюда два направления прогресса. Искать новое — одна задача ученого. «Отрабатывать старое», иначе говоря, очищать фундаментальные законы, принципы и запреты от всего наносного, четче выявлять границы их применения — другая, ничуть не менее ответственная задача.

В основе нашего непоколебимого уважения к заслугам прошлого — сознание того, что все, что открывалось,

подтверждалось позже. Человеку дан чудесный дар — *правильно видеть природу*. Мы постоянно убеждаемся, что когда кто-то проницательный вдруг обнаруживает некие новые для всех ее черты, то при ближайшем рассмотрении они и впрямь оказываются такими, как их увидели.

Даже не имея еще разумного объяснения, правильной теории, люди часто сооружали то или иное сложное устройство, словно озаренные невидимым солнцем истины. Так, в разные времена разные народы овладевали тайной прочности. Овладевали настолько полно, что им потом завидовали зодчие последующих веков. Вспомните пирамиды, о которых современные египтяне говорят: «Все боится времени, а время боится пирамид». Или другой, менее известный, но, по-моему, еще более впечатляющий пример: речь идет о сооружении, в отличие от пирамид, непрерывно работающем, работающем под нагрузкой, да еще какой! В итальянском городе Римини есть мост, соединяющий берега реки Мареккиа. Этот арочный мост длиной 63 метра начал строиться в 14 году нашей эры и был закончен пять лет спустя. По мосту когда-то с грохотом проносились колесницы римских легионеров; а во время второй мировой войны он выдерживал танковые колонны. И сейчас по нему днем и ночью мчатся легковые и грузовые автомобили.

Или вот еще пример. Когда, вы думаете, был изобретен телефон, точнее, способ передачи человеческого голоса по длинной нити? Гораздо раньше, чем это сделал американец Белл, воспользовавшись электрическим током. Недавно в Перу в развалинах одного дворца был найден «телефон», возраст которого определяется более чем в тысячу лет. Он состоял из двух тыквенных фляг, соединенных туго натянутой бечевкой…

Смотреть на прошлое хотя бы глазами прошлого уже полезно. В действительности мы смотрим на него глазами настоящего. Нам раскрывается все та же истина, но простирающаяся и за ограниченный вчерашний горизонт.

Прекрасно это пояснил недавно академик Николай Николаевич Семенов.

«На самом деле, — писал он, — новое в науке никогда не бывает простым отрицанием старого, но лишь его существенным изменением, углублением и обобщением в связи с новыми сферами исследования. Если бы новая теория начисто ликвидировала старые закономерности и теории, то наука вообще не смогла бы развиваться. Любая фантастическая теория была бы в принципе возможной, и полный разгул воображения и чувств ученого стал бы оправдан. К счастью, это не так. Например, открытие теории относительности, открытие электрона, кванта

света, внутреннего строения атома и его ядра отнюдь не отменили механики Ньютона, законов оптики и электродинамики, законов химической валентности, периодического закона Менделеева, но, наоборот, по-настоящему вскрыли их внутреннюю сущность, что послужило мощным толчком для дальнейшего развития физики и химии XX века и их грандиозных практических приложений, например открытия и использования атомной энергии».

Развитие физики — это постепенное освобождение человека от предрассудков, от балласта, окружающего истину. Но сказав, что наши предки жили в мире научных предрассудков, мы должны немедленно добавить: и мы тоже. Разве кто-нибудь осмелится уверять, что современная наука не построена на предрассудках (с точки зрения будущих поколений), что мы знаем истину в высшем ее смысле?

И все-таки мы поступаем правильно, не думая о предрассудках сегодняшней науки. Они станут таковыми только с точки зрения будущей науки, то есть для людей, обозревающих более широкие миры, чем наш. Свой мир мы видим без особых искажений, как видели без особых искажений более ограниченный свой мир наши предки.

Современный опыт подтверждает, что Ньютон был прав в масштабах сантиметра, грамма, метра в секунду. В масштабе стомиллионной доли сантиметра мы обращаемся к Бору и к Гейзенбергу, а в масштабе сотен тысяч километров в секунду — к Альберту Эйнштейну. Законы Ньютона здесь неприменимы, но разве это говорит о том, что он ошибся? Истина, открытая им, остается неизменной. Устанавливаются лишь пределы ее практического применения.

То новое, что мы узнали, увеличило знания, приобретенные с помощью Ньютона, и обогатило их. Никто не требует, чтобы мы от них отказались. Значение открытий Ньютона не уменьшается, а возрастает с развитием научной мысли: великий физик прошлого становится как бы нашим современником; он выступает уже не только как автор классической механики, но и как один из авторов более универсальной современной теории — теории, полнее учитывающей многообразие Вселенной и протекающих в ней явлений.

Так не только в физике. Новые открытия не отвергают старых знаний, а только строже ограничивают область их применения, подчеркивая их фундаментальность.

К сожалению, многие, увлекаясь новостями, упускают из виду фундаментальные цели научного прогресса. Есть лица, вовсе их не понимающие. Не так уж редко даже в популярной литературе

можно встретить нагоняющие тоску рассуждения о непрочности наших знаний, о том, будто новые открытия стирают, аннулируют, отметают все, что было открыто раньше. Некоторые «изобретения» или «опыты» (правда, как позднее выясняется, обычно дефектного порядка) истолковываются как «доказательства» ошибочности важнейших постулатов (основных законов) естествознания.

Открытия не умирают, и потому, обращаясь к старой истине, но пронизанные духом новых идей, мы часто с ее помощью делаем шаг к пониманию и новой истины.

Наукой должны заниматься только честные, добрые люди

В начале книги мы говорили, как на заре веков человек открыл и сделал своим оружием могущественнейшую силу природы — умение управлять ее силами. Через долгий и мучительный процесс поисков, как нужно изучать природу, что должна представлять собой наука — инструмент такого изучения, — люди постепенно овладевали найденным оружием. Рассказ о покорении могущественнейшей из сил был бы не закончен, если бы мы, хотя вкратце, не упомянули и о том, что делалось, чтобы эта сила не обернулась против самого ее разумного обладателя.

В своей глубокой инстинктивной мудрости человек давно догадывался, что и умственная сила может быть направлена против него, как любая другая. В мифах и поэтических произведениях всех эпох нетрудно отыскать тревожные высказывания по этому поводу.

Между познанием и злом устанавливалась теснейшая связь, и кара небесная преследовала тех, кто выходил за запретные пределы Неведомого. Египтяне говорили: «Когда человек узна́ет, что движет звездами, Сфинкс засмеется, и жизнь на Земле иссякнет». Прометей, похитивший у богов огонь и подаривший его людям, был за это прикован к скале, и орел клевал его печень. Правда, герой Геракл в конце концов освободил Прометея, но так как преступление, с точки зрения богов, не могло остаться безнаказанным и кто-то должен был умереть, Зевс взял жизнь благороднейшего из кентавров — Хирона; потом Хирон был вознесен на небо и превращен в сияющего меж созвездий Стрельца.

Во всех этих легендах чувствовался безотчетный страх людей перед последствиями познания. С веками люди стали обосновывать, оправдывать этот страх. Они поняли, что дело совсем не в самом познании, а в том, кто выращивает его плоды.

Уже алхимики догадывались об этом; до сих пор волнует завет их последующим поколениям ученых: «Не допускайте в ваши мастерские силу и ее рыцарей, ибо эти люди употребляют во зло священные тайны, ставя их на службу насилию».

Отчетливее всех увидел два лица научного и технического прогресса Карл Маркс. В своей знаменитой речи на юбилее «Народной газеты» в 1856 году он указал на те руки, которые должны направлять прогресс, чтобы тот служил благу всех людей.

«В наше время, — говорил Маркс, — все как бы чревато своей противоположностью. Мы видим, что машины, обладающие чудесной силой сокращать и делать плодотворнее человеческий труд, приносят людям голод и изнурение. Новые, до сих пор неизвестные источники богатства благодаря каким-то странным, непонятным чарам превращаются в источники нищеты…

Этот антагонизм между современной промышленностью и наукой, с одной стороны, современной нищетой и упадком — с другой, этот антагонизм между производительными силами и общественными отношениями нашей эпохи есть осязаемый, неизбежный и неоспоримый факт… Мы, со своей стороны, не заблуждаемся относительно природы того хитроумного духа, который постоянно проявляется во всех этих противоречиях. Мы

знаем, что новые силы общества, для того чтобы действовать надлежащим образом, нуждаются лишь в одном: ими должны овладеть новые люди, и эти новые люди — рабочие»[1].

За сто с лишним лет после этой речи наука сделала гигантский шаг вперед. Две стороны ее, или два лица, стали видны еще отчетливее. Люди начали особенно интересоваться, что делают ученые не только в своей стране, но и за границей. Никогда раньше научные открытия и технические достижения не становились так быстро достоянием всех людей, всего человечества, как сегодня. Люди радовались добрым плодам науки, а когда она приносила бедствия или грозила ими, это потрясало всех.

В 1945 году американцы сбросили на два японских города первые атомные бомбы. Работами по созданию этих бомб руководил знаменитый американский физик Роберт Оппенгеймер. Бессмысленное убийство сотен тысяч людей так потрясло его, что он заявил во весь голос: «Мы сделали работу за дьявола». Он поклялся никогда больше не создавать бомбу, зная, что распоряжаться ею будут люди, которым безразличны судьбы народов. Он говорил себе, что настоящий ученый не должен помогать таким людям.

Оппенгеймера преследовали и даже судили, но он стоял на своем. Он стал заниматься — и так продолжалось до самой его смерти — только мирными делами атомной энергии.

Необычайно возросла ответственность ученых за свои дела. Высоким моральным обликом должен обладать человек, творящий науку в наше время!

«Трижды академик» Константин Иванович Скрябин (его так называют потому, что он состоит действительным членом трех академий: Академии наук СССР, медицинской и сельскохозяйственной) часто говорит: «Чтобы стать ученым — мало любить науку, надо еще быть и благородным человеком». В числе многих качеств истинного ученого Скрябин называет и такие, как абсолютная честность, скромность, самокритичность…

Замечательно, что все большие, настоящие ученые — действительно самоотверженные, благородные люди. Наука — благодатная область, где человек может развернуть во всю ширь лучшие стороны своей души, проявить свою готовность к подвигу.

Известный советский физиолог Леон Абгарович Орбели задался целью узнать, как наука может, например, помочь подводникам, космонавтам, если вдруг иссякнет запас воздуха в космическом корабле или на подводной лодке.

Что происходит с человеком при удушье? Ученый на себе проделал такие опыты. Он сел в герметическую камеру и велел

выкачивать из нее воздух, пока там не осталось его столько, сколько бывает на высоте 12 километров. Орбели стал задыхаться, он потерял сознание. При помощи искусственного дыхания его привели в чувство только через четыре часа. Другой опыт он проделал в отсеке подводной лодки на Черном море. И снова риск. Но цель была достигнута, и наука узнала то, чего не знала раньше.

Многие, подобно Орбели, во имя жизни людей или прогресса науки ставили опыты на себе, рисковали жизнью. Известны случаи, когда врач погибал, чтобы оставить полезные сведения для науки. Таким был, например, немецкий врач Тотнагель, который в июльскую ночь 1905 года по собственным ощущениям описал картину наступления смерти от тяжелейшего приступа грудной жабы. Именно таких, как Тотнагель, имел в виду голландский медик Ван Тюльп, предложивший для врачей эмблему — горящую свечу и девиз: «Светя другим, сгораю!»

Могут сказать: «Хорошо, но спасение жизни, особенно с риском для собственной жизни, — это все же дело исключительное. А как может совершить свой подвиг скромный химик, физик, инженер и вообще человек такой профессии, где нет драматической опасности?» Что ж, прекрасные черты можно проявить и в «мелочах»: в товарищеской поддержке, в бескорыстной помощи в работе, в добром совете. Такие «мелочи» часто оборачиваются серьезными достижениями науки, показывая, что и в этом случае не бывает пустяков.

Вот пример. Окончив школу, пытливый юноша Георгий Флеров работал смазчиком, чернорабочим, подручным электромонтера, электриком. Потом он поступил в политехнический институт и еще студентом стал проситься работать в лаборатории «хотя бы бесплатно». Окончив институт, он поступил на работу в Ленинградский физико-технический институт и занялся созданием прибора-счетчика для наблюдения за распадом атомных ядер. В это время кто-то сказал Флерову, что в Радиевом институте работает над таким же примерно прибором другой молодой ученый — тоже в прошлом рабочий — Константин Петржак. Флеров не стал гнаться за первенством. Он сам явился к Петржаку, рассказал ему все о своих идеях и предложил во имя науки работать вместе. И вот вскоре два ученых сделали очень важное открытие: они первыми наблюдали так называемый самопроизвольный распад урана, то есть распад урана без бомбардировки его другими частицами — нейтронами, как это делали обычно. Их эксперимент явился важным вкладом в современную физику атомного ядра.

Крупнейшим мировым специалистом по физике звезд

считается профессор Алла Генриховна Масевич. А ведь ей помог, вывел на правильную дорогу известный ленинградский популяризатор науки Яков Исидорович Перельман. Тбилисская школьница Алла Масевич написала Перельману о своем увлечении звездами и сразу получила от него ответ. Потом переписка стала продолжаться, и Перельман помог безвестной школьнице найти себя и получить нужное образование.

Полезная, творческая помощь — тот же подвиг.

Особенно когда это относится к человеку в начале его пути длиною в жизнь. Честность и бескорыстие, верность и самопожертвование, скромность и рыцарское отношение к другим — не только красота. В совокупности своей они тот ключ к героическому, полному прекрасных подвигов будущему, в которое вступает молодой естествоиспытатель наших дней.

Как приближенные представления о движении становились все точнее

Почерк природы

Жили-были очень умные бородачи. Они смотрели по сторонам и старались угадать, из чего состоят все вещи. Особенно их интересовало то общее, что есть во всех предметах. Бородачи, хотя и жили более двух тысяч лет назад (в стране, которую мы называем теперь Древней Грецией), верно рассуждали, что в руках одного мастера — Природы — все должно иметь как бы единый почерк, чем-то напоминать одно другое.

Но чем именно? Какие свойства одинаково присущи воздуху и камню, дереву и человеку? Вопрос волновал и манил тайной. По почерку людей угадывают их характер; не начинается ли разгадка мироздания с разгадки почерка природы?

Как же отвечали бородачи?

По мнениям они разделились. Одни решили, что общее для всех вещей — их неизменность, стремление к покою. Даже летящая стрела казалась этим людям застывшей в воздухе. «Движение ее лишь кажущееся, — говорили они. — В действительности, полет стрелы — простая смена ее покойных состояний». (Для нас их картина мира похожа на кинопленку с кадрами.)

Другие резко возражали. В отличие от первых, они были убеждены, что в природе ничто и никогда не повторяется. Даже мертвая скала представлялась им воплощением потока. «Панта реи (по-древнегречески „все течет“), — говорили они, — все течет, все изменяется и нельзя в одну и ту же реку вступить дважды» (вода будет другая, стало быть, река уже не та).

Кто же вышел победителем в этом споре? Замечательнее всего то, что проигравших не было. Выяснилось, что правы и первые и вторые.

Прошли века, и люди убедились, что все в природе как бы соткано из противоречий. Движение и покой, постоянство и перемены, одно и разное оказались двумя равноправными сторонами действительности.

Куда бы мы ни обратили взор, мы видим эту двойственность.

Мы дышим и с каждым вдохом втягиваем в себя с воздухом 40 миллиардов миллиардов атомов аргона; через мгновение мы выдыхаем те же самые 40 миллиардов миллиардов атомов: аргон инертен и не вступает ни в какие соединения. Мы дышим теми же аргоновыми атомами, которыми дышали Цезарь и Петр Великий и будут через сотни лет дышать наши дальние потомки. «Одно» сосуществует с «разным».

Метагалактика, иначе вся обозримая астрономически часть

Вселенной (сегодня для радиотелескопов это означает протяженность примерно в 10 миллиардов световых лет), состоит из единицы с 82 нулями (записывается: 10^{82}) простейших частиц: протонов, нейтронов и электронов. Это «одно»: ни одна частица к этой массе не прибавилась, возникнув из ничего, ни одна бесследно не исчезла. Но во Вселенной происходят катастрофы, рождаются и умирают звезды и другие небесные тела. Это — «разное», прекрасно уживающееся с «одним».

Кстати, нам не впервые встречается число с большим количеством нулей. Будут попадаться и такие числа, где впереди стоит не единица, а также — где нули группируются в знаменателе. Договоримся, как будем иногда записывать такие числа. Удобнее всего делать так, как сделали только что: не писать все нули, а их количество указывать в показателе степени у десятки. Это значит, что 10^2 есть сто, 10^3 — тысяча, 10^6 — миллион, 10^9 — миллиард, 10^{12} — триллион и т. д. Когда речь идет об очень маленьком, дробном числе и нули нужны в знаменателе, будем писать ту же десятку, но перед показателем степени ставить минус: 10^{-2} значит одна сотая, 10^{-6} — одна миллионная и т. д.

Наивысший искусственный вакуум имеет плотность 10^{-19} *г/см*^{3} — единица, деленная на единицу с 19 нулями граммов в кубическом сантиметре; плотность межгалактической среды 10^{-30} *г/см*^{3} — единица, деленная на единицу с 30 нулями, и т. д.

Число, отличное от десятки и начинающее все выражение, ставится перед десяткой. Плотность ядерного вещества $2 \cdot 10^{14}$ *г/см*^{3} — двести триллионов граммов, или двести миллиардов килограммов, в одном кубическом сантиметре. Приблизительный возраст земной коры $5 \cdot 10^9$ — пять миллиардов лет; скорость света — $3 \cdot 10^{10}$ *см/сек*, и т. д. Это куда короче и изящнее, чем писать: 30 000 000 000 — тридцать миллиардов *см/сек.*

Еще один пример. В водородной бомбе средней мощности энергии примерно столько же, сколько ее выделил во время самого большого из зарегистрированных на Земле извержений вулкан Кракатау в Тихом океане в 1883 году[2]. Такого количества энергии достаточно, чтобы перенести самый высокий в мире дом — Эмпайр стейт билдинг — из Нью-Йорка на Марс. «Одно» и «разное» в этом случае — два направления заданной возможности: первая — повторить на го́ре людям извержение Кракатау, вторая — произвести полезную работу титанических масштабов (конечно, более осмысленную, чем бросок небоскреба на соседнюю планету).

От двойственности природы — две группы законов физики. Законы сохранения показывают, какие свойства или принадлежности тел не изменяются: не исчезают и не возникают вновь. Таковы, в частности, законы сохранения энергии и массы, электрического заряда, количества так называемых тяжелых частиц (протонов, нейтронов и гиперонов), входящих в состав всех атомов или насыщающих пространство.

Другая группа законов — все прочие законы, показывающие, как именно ведут себя тела, как движутся и изменяются под воздействием других тел и сил. К ним относятся законы движения Ньютона, закон всемирного тяготения, закон деформации Гука, законы электромагнитного поля Максвелла и некоторые другие.

Великолепно это сочетание постоянства и перемен! Извечное как бы смиряет разгул стихий, отмеренность — узда на

необузданном. Все полетело бы вверх тормашками, *все кончилось бы*, исчезни хоть ненадолго существующее в природе равновесие!

Есть в физике понятие: слабые взаимодействия. Так называются силы, с которыми действуют одна на другую мельчайшие частицы материи. Это как страшная болезнь. Не будь слабым взаимодействиям какого-то противовеса, они менее чем за тысячную часть секунды превратили бы все вещество (мира в легчайшие частицы — нейтрино и электроны.

К счастью, противовес им есть: он называется законом сохранения тяжелых частиц. Поэтому, хотя распад одних тяжелых частиц с испусканием электронов и нейтрино и происходит, но только так, что одновременно — в процессе этого же распада — появляются другие, новые тяжелые частицы. И этих новых частиц как раз столько же, сколько исчезло старых.

Второй пример полезной двойственности природы. Мы ездим в поездах, летаем на самолетах… Какому закону физики обязаны мы тем, что можем пользоваться всем этим? Ответ, напрашивающийся сам собой: конечно же, закону сохранения энергии — закону количественного постоянства физического движения при его переходах и превращениях; например, тепловое или химическое движение превращается в механическое, в силу чего вращаются колеса или пропеллер. Но этот ответ неполон. В такой же степени обязаны мы еще одному закону — закону движения: «второму закону термодинамики». Он показывает *направление* перехода движения — от горячих тел к менее горячим; действие его тоже обязательно, чтобы работал двигатель.

И жизнь человека оборвалась бы, и во всей Вселенной наступил бы хаос, если бы воцарились одни какие-нибудь законы: сохранения или движения.

Истинность предметных представлений

Обычно физику начинают изучать с механики — старейшего ее раздела — и тем как бы подготовляют сознание ученика к восприятию более сложных разделов физики.

Считают, что механика — наука о движении тел и о силах, заставляющих их двигаться, — особенно проста благодаря «самоочевидности» своих истин.

Между тем механика не легче и не труднее других разделов физики. Есть в ней, конечно, утверждения, запоминающиеся сразу, но есть и тонкости, требующие раздумья.

Механика просто как-то ближе и роднее человеку. Она связана с телами и явлениями его практики. Ее законы человек увидел и познал на опыте раньше других законов физики.

Не то чтобы каких-либо зачатков науки, возможно, четырех-пяти десятков слов не знал наш далекий предок, когда в его зародышевом сознании возникли вполне четкие представления о движении. Он всматривался в мир и видел: все в вечных переменах, в постоянном стремлении куда-то. Река не спеша несет свои воды, ветер шевелит листву, а лесной пожар гонит перепуганных зверей из нор и дупел.

Восхищенными или наполненными ужасом глазами смотрел древний человек на перемещение тел в окружающем ландшафте, на череду событий. Все его учило. Преследуя оленя или спасаясь от клыков разъяренного кабана, человек мог оценить не только острожизненное значение движения, но и силу своих первых знаний, первых навыков по управлению движением.

В борьбе за существование в сознании его сложились первые, не выраженные словами, младенческие представления о силах и движении:

одни тела движутся помимо моей воли — Солнце, звезды, животные, окружающие люди; другие тела движутся так, как я хочу, — мое оружие, я сам;

вмешавшись, я могу повлиять на движение некоторых, обычно неподвластных мне тел; для этого я должен приложить усилие — толкнуть или остановить их, метнуть копье или ударить палкой;

направление усилия важнее самого усилия; правильно его выбрав, я могу породить силу посильнее моей собственной: скатить, например, с горы камень, который напугает моих врагов; могу, если захочу, уничтожить силу, превышающую мою: убить палкой тигра или сделать что-нибудь другое. Зная нужное направление усилия, я сильнее всех стихий.

Когда интенсивно «заработали» слова и мысль, представления о силах и движениях стали несколько конкретнее:

чтобы вывести тело из состояния покоя, к нему надо приложить силу;

тело, если его все время не толкать, рано или поздно остановится;

чем больше приложенная к движущемуся телу сила, тем больше его скорость;

легкие тела всегда и весьма заметно падают медленнее тяжелых…

Тысячелетиями эти представления владели сознанием людей, и никто не сомневался в их истине. Их принимали как нечто очевидное, в проверке и подтверждении не нуждающееся.

А потом? Потом нашли, что они ошибочны. Почему же мы говорим о них сейчас? Стоит ли вспоминать о них, начинать с них современную книгу о физике, когда большинству известно, что законы классической механики формулируются иначе?

Убежден, что не только стоит, но и совершенно необходимо.

Во-первых, вопреки распространенному мнению, высказанных истин никто не отвергал по той простой причине, что по-своему они верны, что любой эксперимент подтверждает их *для тех условий, для которых они выводились*. Катящийся по футбольному полю мяч остановится, если его не подталкивать; перышко, брошенное вместе с пулей, упадет позже ее, и т. д.

Конечно, не будь трения, мяч не остановился бы, а будь на Земле вакуум, перо и пуля упали бы одновременно. Но люди ведь не живут без трения, и окружает их воздух, а не космическая «пустота». А те, кто первыми рассуждали о движении, думали не об отвлеченном, родившемся потом в сознании, а о реальном мире.

Человеку свойственно правильно видеть природу, и он побеждал стихии потому, что видел именно ту природу, в которой жил. В такой реально окружающей его природе человек боролся, в ней открывал и изобретал.

Сейчас мы живем в колоссальном мире, в котором наряду с непосредственно воспринимаемой нами областью есть области, повседневно нами не ощутимые. Мы их не чувствуем или потому, что в своем естественном состоянии они постоянно чем-то наполнены (например, «пустота», а точнее, окружающий нас вакуум — молекулами воздуха, благодаря чему мы чувствуем атмосферу, а вакуума не чувствуем), или потому, что наши органы чувств слишком грубы для них, их не воспринимают — таковы микромир (мир атомов и их осколков) и мир сверхвысоких скоростей.

Неощутимость таких областей природы не мешает нам проникать в них. Мы все равно собираем с них дань, извлекаем из их недр энергию или пищу для утоления любознательности. Но первобытный человек знал только ощутимый мир; все остальное, вплоть до самой простой примитивной абстракции — мира без воздуха и без трения — было чуждой для него природой. Он ничего там не увидел бы, даже если бы ему сказали, что есть и такие миры.

Мир первобытного человека, как и мир детей, порой называют «миром предметных представлений». Что ж, название совершенно точное: идеи в подобном мире приходят не от

отвлеченных образов, а непосредственно от предметов, преимущественно от предметов повседневной практики.

Мир предметных представлений имеет свои достоинства. Первое из них — умение показывать *главные черты реальности*.

Мы восхищаемся наскальными изображениями животных и охоты, сделанными тысячи, а иногда и десятки тысяч лет назад. Многим они знакомы по репродукциям или фотографиям: изображение дикой лошади на скале близ села Шишкино на реке Лене, фрески из Тассили в Северной Африке, (изображения в гротах Магвимеви в Грузии, недавно обнаруженные крашеные фигуры животных в пещере на Урале… Высеченные на скале, иногда написанные краской (обычно охрой), они поражают выразительностью. Как замечателен в них каждый штрих! Ничего, кроме самого существенного — движение, ярость, торжество победы, — но это трепещущая жизнь.

«Ничего, кроме самого существенного», — так можно охарактеризовать древние представления об окружающем. «Земля плоская» (для неандертальца, ограниченного в передвижении, ее шарообразность несущественна). «Природа боится пустоты» (или «отвратительного Ничто», как писал Аристотель; первобытный человек никогда не поднимал воду по трубе на высоту более 10,33 метра, где этот закон неверен, если под пустотой понимать отсутствие вещества). «Чтобы летать, надо иметь крылья» (в эпоху каменного топора ни реактивного самолета, ни хотя бы поршневого «кукурузника», ни даже самого обыкновенного воздушного шара построить было невозможно).

Человек видел *свою* природу и правильно говорил о том, что видел.

…Было время, когда меня смущали римские акведуки. Руины этих древних водоводов казались нарушением принципа правильного человеческого видения природы: каменный водовод шел не почти параллельно уровню моря, слегка понижаясь к Риму, а горбами изгибаясь над холмами. Потом я догадался, в чем причина ошибки. О том, что Земля круглая, римляне еще не знали. Но они знали, что существует горизонт. Почему он существует, им было неизвестно, но объяснение напрашивалось само собой: это возвышенность, за которой идет спуск. Река свободно протекала через эту «возвышенность», изгибаясь вертикально, — значит, и в каменной трубе она должна совершать путь по кривой, подчиняясь профилю местности, — таков, вероятно, был у римлян естественный вывод.

Как видим, и эта редчайшая ошибка древних инженеров была, так сказать, «из лучших побуждений»: правильно увиденное они лишь неправильно объяснили.

Вторая важная причина, по которой нам следует говорить о мире предметных представлений в современной книге о физике, заключается в том, что этот мир не только взлетная, но и посадочная площадка для научного и технического прогресса.

Мы далеко ушли вперед в умственном развитии от наших предков, но физически изменились мало. Весим мы примерно столько же, сколько весили неандертальцы, жившие полмиллиона лет назад; не больше их едим и пьем, бегаем нисколько не быстрее. Не дальше предков мы видим без приборов, а с точки зрения оптики видим внешне то же самое, что увидели бы и они. Технический, научный и философский прогресс не превратил человека в сверхчеловека.

Космонавт Алексей Леонов сделал первую в истории человечества «разминку» в мировом пространстве, но в этот «чистый» космос он не просочился сквозь стенки корабля, как электрон сквозь «потенциальный барьер» (есть такая на первый взгляд непроницаемая перегородка в мире простейших частиц материи, через которую они, однако, иногда просачиваются), а вышел через люк, как это сделал бы и Аристотель.

Наука движется вперед, а плодами ее пользуется все то же существо, для которого «солнце всходит и заходит». На языке предметных представлений человек учился познавать природу, на этом же родном для него языке наука рассказывает ему о своих успехах.

Похоже на возвращение из-за границы. Зная иностранные языки, можно, путешествуя, увидеть многое, многое понять. Но у родного очага надо рассказывать о виденном на языке, понятном окружающим. Иначе не поймут, скажут, что даром съездил.

Аристотель и Галилей

— Может ли сплошной кусок металла свободно парить в воздухе? Опыт производится в обыкновенной комнате (можно и на улице), никакие магнитные, центробежные и иные силы на него не действуют.

Я не слышал положительного ответа на этот вопрос, хотя задавал его ребятам нередко. Между тем ответ должен быть именно таким. Сейчас делаются проволочки толщиной в несколько микронов (тысячных долей миллиметра), и они парят в воздухе, как пушинки.

— Если бы вы сказали не «кусок» металла, а «кусочек» или «крохотуля», я бы догадался, в чем дело, — заметил один школьник после разъяснения.

То, что тело более легкое должно лететь к земле с меньшей скоростью (в пределе — с нулевой, то есть совсем не падать), для мальчика факт само собой разумеющийся. Так же, как инстинктивно верят в этот факт и те туркмены, которые (я слышал это в детстве у себя на родине), обучая малышей езде на лошадях, подбадривают их: «Не бойся, ты же маленький: упадешь — не так ушибешься, как большой». Стоит ли удивляться после этого поразительной живучести в *тысячелетиях* древнейших представлений о движении тел.

История говорит, что лучше всех их выразил, пропустив через умозрительную логику, великий мудрец древности Аристотель. По Аристотелю, движение подчинено следующим основным двум законам:

все тела падают со скоростью, пропорциональной их весу (значит, гиря весом 2 килограмма будет падать вдвое быстрее гири весом 1 килограмм);

если на предмет не действует никакая внешняя сила, он будет пребывать в покое.

Слава этого мудреца была столь велика, а его учение на протяжении без малого двух тысячелетий казалось столь безупречным, что долго никому и в голову не приходило подвергать сомнению эти законы движения. Даже еще в 1500 году говорили: «Чтобы стать ученым, надо наизусть знать Аристотеля. Не обязательно понимать его, но сомневаться в его словах нельзя, это богохульство».

Первым, кто открыто выразил сомнение в аристотелевских принципах движения, был молодой профессор Пизанского университета в Италии Галилео Галилей (1564–1642). Живший в эпоху великого переворота в умах и понятиях людей, известную

под названием эпохи Возрождения, Галилей внес в нее свой вклад ученого-естествоиспытателя.

Галилео Галилей был виднейшим основоположником экспериментального естествознания. Обучаясь в Пизанском университете, он брал частные уроки математики у известного архитектора и педагога технической академии того времени — Остилио Риччи, и, по-видимому, эти уроки показали молодому Галилею, какие благотворные возможности для познания природы таит в себе сочетание теории и практики.

Став профессором физики и военно-инженерного дела в Падуе, Галилей устроил в своем доме мастерскую и набрал в нее ассистентами толковых ремесленников. Так была основана первая в истории университетская лаборатория.

Практика постоянно давала Галилею могучие импульсы для теоретических исследований. Например, трудности, с которыми столкнулись артиллеристы при вычислении траекторий снарядов, побудили Галилея изучить вопрос о падении тел. Он блестяще решил проблему, сочетая физический эксперимент с теоретическим математическим методом. Оказалось, что, двигаясь в безвоздушном пространстве под действием одной только силы тяготения, тела описывали бы параболическую траекторию.

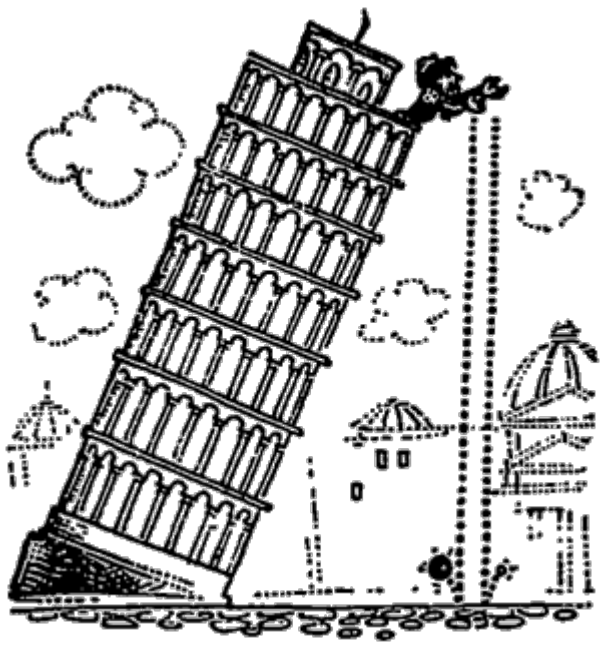
Около 1600 года в Голландии появился прототип телескопа. Легенда уверяет, что все началось с того, что один ребенок в мастерской Липпершея посмотрел через две линзы в окно и заметил, что предметы, находящиеся снаружи, стали казаться гораздо ближе. «А ведь при помощи таких линз можно издалека наблюдать приближение неприятельских войск!» — сразу сообразили голландцы. Так или иначе, но в 1609 году на основе отрывочных сведений из Голландии Галилей сконструировал уже настоящий телескоп, сперва с трехкратным, а потом и с тридцатикратным увеличением. Гениальный итальянец тотчас направил свой телескоп в небо. За несколько первых же ночей наблюдения он увидел достаточно, для того чтобы разгромить аристотелевскую картину этой стихии. Луна оказалась не идеальной сферой, как считалось раньше, а покрытой «морями» и горами; Венера, как и Луна, имела фазы; а Сатурн предстал перед наблюдателем разделенным на три планеты. Были и другие неожиданные открытия.

Галилей сразу почувствовал революционный характер своих наблюдений и в 1610 году опубликовал книгу «Звездный вестник», которая затем оказалась самой ходкой научной книгой того времени.

Галилей всячески превозносил разум и его возможности. В

своих трудах и выступлениях он утверждал, что человеческое познание безгранично, что для него не существует никаких пределов. Правда, мир исключительно богат и разнообразен, никто не решится сказать, что знает все о природе. Но, несмотря на это, писал Галилей: «Человеческий разум познает некоторые истины столь совершенно и с такой абсолютной достоверностью, какую имеет сама природа».

Однажды в присутствии студентов и резко настроенных против него ученых Галилей взобрался на знаменитую падающую башню в Пизе и осторожно бросил с 56-метровой высоты одновременно большое пушечное ядро и маленькую мушкетную пулю. Вопреки тому, что следовало из учения Аристотеля, ядро не упало раньше. Оба предмета ударились о землю одновременно.



В наш век подобный опыт убедил бы всех (если бы оставались неубежденные), что при сравнительно ничтожном влиянии сопротивления воздуха все свободно падающие тела, независимо от веса, падают с одной и той же скоростью. Но мы живем в эпоху высокого уважения к эксперименту. Тогда же, в старину, истины выводились из общих рассуждений, опыт был не в моде. Поэтому лишь один профессор в тот памятный день признал правоту Галилея. Все остальные, присутствовавшие на опыте, хотя, быть может, в душе и чувствовали себя неправыми, резко обрушились на экспериментатора.

Уязвленное самолюбие, сила укоренившихся предрассудков,

преклонение перед авторитетом великого греческого мудреца — все, вместе взятое, оказалось выше свидетельства эксперимента. В университетах продолжали преподавать физику по Аристотелю.

Было, правда, и в те времена весьма авторитетное свидетельство в пользу Галилея. Оно исходило от… Аристотеля. Греческий мудрец, оказывается, тоже считал, что в вакууме, то есть при отсутствии влияния на падающие тела воздушной подушки, все тела должны падать с одинаковой скоростью. Однако из этого верного умозрительного заключения Аристотель делал совершенно невероятный вывод: «Падение разных тел с одинаковой скоростью настолько абсурдно, что ясна невозможность существования вакуума».

Все же сомнение в правоте Аристотелева учения было заронено в сознание людей, и они не забыли эксперимента у Пизанской башни. Прошли годы, и день опыта Галилея был признан днем рождения *экспериментального метода в науке*. Сам Галилей был назван *отцом экспериментальной физики*.

Галилей положил краеугольный камень новой физики, названной затем *классической*. Эта физика пришла на смену умозрительной, как та, в свою очередь, пришла на смену наивным взглядам на движения в природе.

Современник Галилея английский философ Френсис Бэкон (1561–1626) говорил: «Человек ничего другого не может делать, как сближать или удалять тела; остальное делает за него природа». Так вот, если до Галилея такая деятельность людей исходила лишь из опыта предшествующих поколений и из интуиции, подкрепляемой обычно рассуждениями, то основатель новой физики показал иной путь ориентации человеческой деятельности — ориентации на основе опыта, предварительной практической проверки.

Отдавая должное Галилею, надо, однако, сразу сказать, что он все же не сумел до конца объяснить, почему свободно падающие тела ведут себя не так, как предполагал Аристотель, и почему неравные силы сообщают неравные же скорости брошенному камню, но в то же время приводят к падению различных тел с одной и той же скоростью.

Дальнейший вклад в объяснение этого внес другой великий естествоиспытатель — англичанин Исаак Ньютон (1642–1727), родившийся в год смерти Галилея.

«Быстрый разумом»

За окном падал крупными хлопьями снег. Вдалеке празднично звонили колокола. В такую ночь хорошо мечтать, но женщинам, собравшимся в одной из комнат старого, сложенного из серого камня дома, было не до этого. Тревога наполняла их сердца, и скрыть ее не удавалось.

— Какой крохотный! — воскликнула старушка в простом черном платье с белым передником и в высоком накрахмаленном чепце, какие носили вдовы Англии того времени. — Поместится в пивной кружке.

Женщина, лежавшая под одеялом, еще не видела сына, только что появившегося на свет: ее мать и соседка не спешили показывать ей такого хилого ребенка. Но Анна Ньютон — так звали женщину — знала, что он родился слишком рано, и боялась, что он настолько слаб, что жить не будет. Услышав слова соседки, она заплакала.

Было это зимой 1642 года в небольшом, поросшем мохом, доме близ деревни Колстерворд в английском графстве Линкольншир. Дом назывался «Вулсторп», и владело им небогатое семейство фермеров.

Тревога матери оказалась напрасной. Укрепляющие лекарства и заботы близких, особенно бабушки, спасли ребенка. Более того, ребенок очень быстро стал одним из самых крепких и здоровых малышей округи. Особой физической силой он, правда, не отличался, но никогда почти не болел.

Исааку Ньютону — речь идет о нем — было суждено прожить без малого 85 лет. Он непрерывно трудился и творил чуть ли не до последних своих дней.

До конца жизни он потерял всего лишь один зуб. Когда иные в окружении Ньютона вдруг узнавали, что их кумир на заре жизни носил укрепляющий воротничок (чтобы не падала головка на слабой шейке), они этому попросту не верили.

Довольно-таки ленивый в детстве, Ньютон, однако, в детстве же сумел себя как следует встряхнуть и научить работать. Окончив Кембриджский университет, он 29 лет от роду был избран членом Лондонского королевского общества (английской академии наук), а в 1690 году стал президентом этого общества.

Постепенно он стал тем, кем мы его теперь знаем: одним из четырех величайших физиков и космологов всех времен (обычно ставят в один ряд Аристотеля, Галилея, Ньютона, Энштейна). Когда он умер и был похоронен в английском национальном пантеоне (усыпальнице выдающихся людей) — Вестминстерском

аббатстве, — на памятнике над его могилой написали: «Пусть смертные радуются, что существовало такое украшение человеческого рода».

Что же сделал для науки «быстрый разумом», как называл Ньютона М. В. Ломоносов?

Ньютон настаивал на необходимости строго механически, математически и с приведением ясных причин объяснять природу. Открытый Ньютоном закон всемирного тяготения позволяет не только исследовать движение небесных тел, но и предвидеть их будущее положение в пространстве.

Основной труд Ньютона называется «Математические начала натуральной философии» (то есть философии — науки в широком смысле — всей природы). В «Началах», в частности, рассматривается проблема искусственных спутников, которые, после вывода на орбиту, должны обращаться вечно вокруг Земли без затраты на то энергии.

Один этот пример показывает, как далеко смотрел и много видел Ньютон. Спустя 270 лет проект Ньютона относительно искусственного спутника был впервые в мире реализован в Советском Союзе.

Ньютон — один из изобретателей так называемой высшей математики, то есть того, что более точно называется «основами анализа и дифференциального исчисления».

Законы Ньютона

К числу выдающихся научных достижений Ньютона относится высказанное им смелое предположение, по которому все материальные тела, кроме таких наглядных, очевидных свойств, как твердость, упругость, вес и т. д., имеют еще одно чрезвычайно важное свойство: *инерцию*.

Мы часто говорим о людях, может быть и талантливых, способных, но трудных на подъем: инертный человек. Нужны усилие, раскачка, чтобы вывести таких людей из состояния блаженного покоя. Идеальный литературный образец инертного человека — Обломов. Физическая инерция чем-то внешне напоминает эту жажду покоя, неизменности состояния у инертных людей.

Имеется, однако, и другое проявление инерции. У людей — это стремление сохранить раз навсегда принятый, хотя бы совершенно бешеный ритм работы, жизни. Говорят, не надо мешать этому благотворному стремлению: люди, привыкшие работать много, заболевают от безделья в санаториях или на пенсии. Один биограф Джека Лондона писал, что Лондон умер, попав вдруг после страшного жизненного напряжения в обстановку полного благополучия: писателя словно выбросило на всем ходу из курьерского поезда и он разбился. (Лондон умер, приняв слишком большую дозу успокаивающего лекарства, и многие считают, что он сделал это сознательно, покончил самоубийством…)

В физике второе проявление инерции заключается в том, что тело, предоставленное самому себе и не подверженное влиянию сил, продолжает движение с постоянной скоростью и по прямой линии. Свободно катящаяся вагонетка, автомобиль с выключенным двигателем, футбольный мяч, скользящий по траве, и т. п. — все эти предметы на Земле останавливаются, ибо на них действуют задерживающие силы трения колес, покрышек и т. д. о поверхность качения; действует также и сопротивление воздуха, а у механизмов еще и внутреннее трение деталей.

Учитывая два проявления инерции, Ньютон примерно в следующих выражениях сформулировал чрезвычайно важный закон, которому подчиняются все материальные тела:

> Если тело находится в покое, оно в покое и останется, а если оно движется, то оно будет продолжать движение с постоянной скоростью и по прямой линии до тех пор, пока на него не подействует какая-то внешняя

сила, не уравновешенная другими силами.

Это утверждение известно как *первый закон Ньютона*, или *закон инерции*.

У человека, задумывающегося над глубоким, философским смыслом закона инерции, может возникнуть вопрос: если с точки зрения закона инерции, так сказать, все равно, покоится ли тело или движется прямолинейно и равномерно, — не является ли это свидетельством того, что между двумя названными состояниями тела и в самом деле нет никакой разницы (во всяком случае, в каком-то определенном смысле)?

Дальше мы увидим, что на поставленный вопрос нужно ответить положительно. Но сначала следует обсудить другой вопрос, без чего не только нельзя ответить на предыдущий, но даже сама его формулировка становится столь же бессмысленной, как, скажем, фраза: «Какого цвета португальские секунды?»

Вот он: когда мы говорим о покое и о движении, *по отношению* к чему мы их подразумеваем?

Вопрос может показаться странным. В самом деле, вот на столе лежит карандаш, — ведь он же покоится. А за окном проехал велосипедист, — ведь движется же он. Как будто никаких «по отношению к чему» не нужно, все видно сразу.

Но подумаем внимательнее. Карандаш *покоится по отношению к столу и сидящему за столом Пете Иванову*, это верно, но ведь по отношению к проезжающему велосипедисту он ведет себя иначе. Тот человек бросит взгляд в окно и скажет: «*По отношению ко мне и моему велосипеду карандаш (вместе со столом, комнатой и всем домом) движется назад*, я вижу это вполне отчетливо».

Конечно, многие его поправят: «Вам только кажется, что карандаш и дом движутся назад. Так кажется и пассажирам поезда, что телеграфные столбы бегут, а поезд стоит на месте; однако же это не так: столбы врыты в землю, они не могут двигаться».

Трудно придумать более неверные и даже вредные (как закрепляющие в сознании предрассудки) слова! С точки зрения физики, истина в том, что карандаш *на самом деле покоится* по отношению к столу и в то же время тот же карандаш *на самом деле движется* по отношению к велосипеду.

Физика утверждает, что движение *относительно* по самой своей природе. Сказать просто: «Тело движется так-то» — это значит произнести слова, не имеющие содержания. Если быть точным, нужно говорить: «Тело движется так-то по отношению к такому-то другому телу», или, как принято в физике, «по

отношению к такой-то *системе отсчета*», или просто — «в такой-то системе отсчета».

Всякое движение есть движение в какой-то системе отсчета, оно относительно. Заметим кстати, что нередко считается, будто бы установление этой относительности движения — достижение теории относительности Эйнштейна. Это совершенно неправильно. В теории относительности речь идет совсем о других вещах.

Вот теперь вернемся к тому первому вопросу, на который пока не получили ответа, к вопросу об «одинаковости» или «неодинаковости» покоя и равномерного прямолинейного движения.

Согласно закону инерции тело, на которое ничто не действует или же воздействия на которое уравновешивают друг друга, движется с постоянной скоростью, прямолинейно и равномерно (в частности, это может быть покоящееся тело, то есть тело, скорость которого равна нулю). Спрашивается: к каким системам отсчета относится это утверждение? Очевидно, что не ко всем.

Пусть на верхней полке вагона, движущегося с постоянной скоростью относительно железнодорожного полотна, лежит в покое (относительно вагона) чемодан. Если машинист внезапно затормозит поезд, чемодан может свалиться с полки. Очевидно, что в период торможения чемодан находился в иной системе отсчета, чем до торможения.

Подлинное содержание закона инерции заключается в том, что *существуют* системы отсчета, по отношению к которым тело, не подверженное неуравновешивающим друг друга воздействиям, сохраняет свою скорость. Такие системы отсчета называются *инерциальными*.

Ясно, что если какая-нибудь система отсчета является инерциальной, то инерциальной будет и *любая* другая система отсчета, движущаяся относительно первой с постоянной скоростью, в частности покоящаяся относительно ее.

Это и есть «одинаковость» покоя и равномерного прямолинейного движения, о которой шла речь.

Где же в природе находятся инерциальные системы?

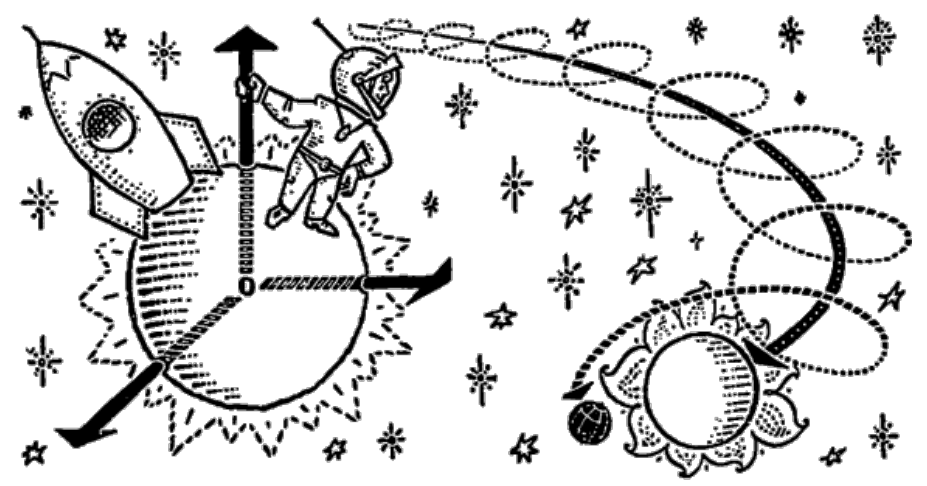
Опыт показывает, что с очень большой точностью инерциальной является система отсчета, связанная со звездами центральной части нашей Галактики — звездным скоплением, насчитывающим около ста миллиардов объектов.

Ну, а обыкновенная комнатная лаборатория, поле под открытым небом — инерциальные это системы или нет? Строго говоря, нет, отдельные участки земной поверхности с

расположенными на них физическими приборами — неинерциальные системы. Ведь Земля вращается вокруг своей оси, а система, движение которой относительно инерциальной системы (в данном случае Галактики) имеет вращательную часть, уже не является инерциальной. Эта неинерциальность характеризуется появлением центробежных сил, зависящих от скорости вращения.

Тем не менее для очень многих опытов можно неинерциальностью Земли пренебречь: за одну секунду наша планета поворачивается всего на $^1/_{240}$ долю градуса, или на 0,00007 радиана, а это не так много.

Иногда, однако, требуется точность более высокая, чем можно этого добиться в условиях земной системы отсчета, считая ее инерциальной. В таких случаях ищут более подходящую, более инерциальную систему. Коперник пользовался системой, центром которой была не Земля, а Солнце. Все же и она не является вполне идеальной. Ведь наше Солнце всего лишь одна из ста миллиардов звезд Галактики, а это звездное скопление вращается относительно своей центральной части со скоростью один оборот в 180 миллионов лет. Солнечная система находится сравнительно далеко от центра вращения Галактики (примерно в двух третях радиуса Галактики). Однако она тоже вращается вокруг оси, проходящей через этот центр, с окружной скоростью 250 *км/сек*. Значит, Солнечная система неинерциальна. Только в данном случае неинерциальность, конечно, совсем ничтожна. Можно высчитать, что система «Солнце» инерциальнее системы «Земля» в 100 миллиардов раз. Куда уж точнее!



Впрочем, бывает, что и инерциальность галактической системы не удовлетворяет астрономов. Тогда они принимают

инерциальную систему: «несколько галактик». В этом случае они ориентируются не на одну нашу, пишущуюся с большой буквы, Галактику, но и на окружающие ее другие звездные острова.

Более инерциальных систем мы не знаем.

Находясь в инерциальной системе, легко обнаружить появление новой силы: закачалась люстра, упал стакан, зазвучал вдруг сам собой рояль… Еще не зная, что произошло, вы знаете уже точно, что какая-то внешняя сила вторглась в ваш мирок, в вашу инерциальную систему. Может быть, это осела почва, может быть, просто в открытое окно ворвался сильный поток воздуха; проехавший мимо грузовик мог вызвать неслышимое колебание фундамента, частично обратившееся, по закону резонанса, в слышимое колебание рояльных струн.

Но не только появлением нового движения проявляет себя сила. В общем случае, как утверждает повседневный опыт, сила проявляет себя четырьмя способами: вызывая или прекращая движение, изменяя направление движения (например, заставляя тело двигаться по кругу), изменяя форму тела.

Из этих четырех проявлений силы лишь последнее может быть легко измерено. На помощь здесь приходит так называемый закон Гука (по имени соотечественника Ньютона — Роберта Гука, жившего с 1636 по 1703 год и открывшего этот закон). Закон Гука гласит:

> Если деформирующееся тело не выходит за пределы упругости (иначе говоря, после прекращения действия силы возвращается в исходное состояние), то деформация тела прямо пропорциональна приложенной силе.

Например, если доска через ручей под тяжестью второго мальчика прогнулась в полтора раза больше, чем под тяжестью первого, значит, второй мальчик тяжелее первого ровно в полтора раза.

Справедливость закона Гука легко проверяется с помощью обыкновенных пружинных весов. Они как раз основаны на этом законе: указатель опускается на число делений вдвое, втрое, вчетверо больше, если удваивать, утраивать, учетверять груз.

Как же по возникающим эффектам измерять величину силы в остальных трех случаях? Это было очень трудно, пока Ньютон не сформулировал своего второго закона движения:

> Действующая на тело сила равна произведению массы тела на его ускорение.

Но что такое *масса* тела и что такое *ускорение*?

О массе. Иногда говорят (даже физики), что масса — это количество вещества в теле. Однако понятие «количество вещества» звучит довольно-таки неопределенно, туманно.

Мы не будем здесь пытаться дать точное определение массы — это заставило бы нас обратиться к некоторым более специальным и сложным рассуждениям. Отметим только, что масса тела характеризует его инерционность. Чем больше масса, тем большая сила нужна для данного изменения скорости тела за данное время или тем медленнее изменяется скорость под действием данной силы.

В практической жизни массы и их величины занимают нас гораздо больше, чем мы себе это обычно представляем. Мы приходим, например, в магазин и просим продавца взвесить нам килограмм сосисок. В действительности, мы заказываем не вес, а *массу* сосисок. Вес в данном случае нас совсем не интересует, нам важно фактическое «количество вещества», то есть нечто неизменное, а вес — это переменная величина, случайный показатель.

Весом тела называется сила притяжения тела Землей (или другим небесным телом), он может быть измерен пружинными весами. А сила веса, как показывает опыт, на Земле разная: она увеличивается в точках планеты поближе к ее центру (например, на уровне моря у полюса, который из-за сплюснутости Земли ближе к земному центру) и уменьшается в точках более далеких (на экваторе, на вершинах гор). Килограмм сосисок, купленный в магазине в Москве, прибавил бы в весе граммов на десять в лагере «Мирный» в Антарктиде; зато он же на грамм «похудел» бы на вершине Эвереста, а на экваторе тот же килограмм весил бы на пять граммов меньше, чем в Москве.

Все это мы могли бы проверить одними и теми же пружинными весами. Только человек, забывший физику, напрасно в двух последних случаях винил бы московского продавца. Космонавт мог бы купленные сосиски взять с собой; в полете они совершенно потеряли бы вес, но это не помешало бы ему с аппетитом питаться ими. Для него важна масса, а она, в отличие от веса, не уменьшается и не увеличивается.

Массу можно измерить, не задумываясь над географией и другими внешними обстоятельствами. Только весы надо брать не пружинные, где измеряется непостоянная сила тяжести, а с коромыслом, где измерение производится путем сравнения неизвестной массы с массой того или иного количества эталонных (то есть образцовых) единиц, иначе говоря, гирь.

В большинстве стран мира, в том числе и у нас, за единицу массы принимают грамм или килограмм (1000 граммов). Один грамм, как известно, есть масса кубического сантиметра воды при температуре 4 градуса. Водой при определении массы неизвестного тела пользоваться неудобно, поэтому сделали в виде цилиндра металлический эталон, равноценный массе литра воды при 4 градусах. Договорились, что этот эталон будет служить исходной меркой для всех других эталонов и гирь. В настоящее время он хранится в подвале Международного бюро мер и весов близ Парижа, а СССР обладает его копией № 12.

Ну, а как быть с неправильным употреблением слова «взвешивание», из-за которого массу и вес все время путают? Что придумать? Может быть, издать декрет, по которому вместо «взвесьте мне» говорили бы «взмассьте мне» или что-нибудь в этом роде?

Такой декрет делу не поможет, потому что путаница, как назло, увеличивается еще и тем, что вплоть до самых последних лет (часто и поныне) вес и массу измеряли в одних и тех же единицах: граммы и фунты служили одинаково для измерения того и другого.

Сперва, правда, иногда к названию единицы прибавлялось то, что подразумевалось измерять: говорили не просто «грамм» или «килограмм», а «грамм-масса», «килограмм-масса», «килограмм-вес» и т. д. Килограмм массы обозначался сокращенно *кг,* а килограмм силы или веса *кГ*. Но этого все же было мало. Недавно по договоренности между учеными многих стран, в том числе и нашей, была введена (с 1 января 1963 года) новая «Международная система единиц» — СИ, которая устранила эту путаницу. Массу в этой системе договорились измерять, как и было, в килограммах, а силу — в новых единицах: *ньютонах* (сокращенно *н*).

Один ньютон — это сила, которая сообщает массе в 1 килограмм (*кг*) ускорение 1 метр в секунду в квадрате.

Если выразить новую единицу силы в основных единицах длины, времени и массы — установить, как говорят, ее размерность, — то получается: $н = кгм/сек^2$.

Не трудно ли будет людям отвыкнуть от прежних единиц и перейти к ньютону?

Никаких оснований для этих опасений нет. Надо запомнить одно: 1 килограмм силы (*кГ*) равен 9,80665, или приблизительно 9,8 ньютона (а еще приблизительнее: 1 $кГ = 10$ *н*), а 1 ньютон — 0,101971 килограмм-силы, приблизительно 0,1 *кГ*.

Если Андрей «весил», как выражались раньше, 70 килограммов, а Анна — 50 килограммов, то эти величины для них так и сохранились. Только Андрей и Анна поступили бы вернее, если бы вместо «мы весим 70 и 50 килограммов» говорили «наши массы равны 70 и 50 килограммам». Весят же они в новых единицах на поверхности Земли приблизительно: Андрей — 700 ньютонов, а Анна — 500 ньютонов. На поверхности Луны их массы сохранят прежние значения (70 и 50 *кг),* а вес уменьшится в 6 раз (до 117 и 83 *н*).

Об ускорении. Под ускорением мы понимаем быстроту изменения скорости во времени. Время измеряется в секундах (*сек*), скорость — в метрах в секунду (*м/сек*); разделив второе на первое, мы получаем размерность ускорения — $м/сек^2$.

Нет ничего проще, как проиллюстрировать на жизненных примерах действие второго закона Ньютона.

Автомобиль стал резко набирать скорость. Мы немедленно чувствуем появление новой силы, действующей на автомобиль, так как благодаря нашей связанности с сиденьем автомобиля эта сила начинает действовать и на нас — нас отбросит назад.

Шофер вдруг увеличил ускорение вдвое. Вдвое возросла и сила, потому что по закону сила равна массе, умноженной на ускорение, — при неизменной массе автомобиля и пассажиров

сила увеличивается пропорционально ускорению. Шофер резко затормозил (а торможение — то же ускорение, только наоборот) — нас словно что-то ударило в спину и мы «клюнули носами».

Во втором законе Ньютона, как он записан выше, не говорится о скорости. Однако эта физическая величина неотделима от него, как тень: скорость, достигаемая к данному моменту, увеличивается (или уменьшается) вместе с ускорением, а так как ускорение пропорционально силе, то можно сказать, что при неизменной массе скорость изменяется пропорционально силе (если сила не зависит от времени). Этот на первый взгляд простой и очевидный факт объясняет многое из того, что когда-то находилось в тумане.

Почему, скажем, когда хоккеист ударяет клюшкой вдвое сильнее, шайба летит вдвое быстрее, а двухкилограммовая гиря не падает вдвое быстрее килограммовой, хотя 2 килограмма — сила вдвое большая, чем 1 килограмм?

Да просто потому, что хоккеист прикладывает разные силы *к телу одной и той же массы*, а так как скорость при неизменной массе возрастает пропорционально силе, то, естественно, и скорости шайбы будут разными. Иное дело при свободном падении *разных* тел. Второй закон Ньютона, если им воспользоваться для определения ускорения, можно переписать и так:

Ускорение равно силе, деленной на массу.

Сила веса двухкилограммовой гири вдвое больше силы веса килограммовой гири. Будь только это одно различие между двумя гирями (как в примере с хоккеистом), конечно, более тяжелое тело полетело бы вниз, как учил Аристотель, вдвое быстрее. Но ведь гири различаются еще и массами, причем, как оказывается, так, что сила веса пропорциональна массе. В результате оба тела будут падать с одним и тем же ускорением, а стало быть, с одной и той же скоростью.

Каких бы масс тела́ ни падали свободно на Земле, их ускорение всегда будет примерно одинаковое, не очень отличающееся от величины 9,8 *м/сек*^{2}. Чтобы не писать каждый раз одну и ту же величину, договорились обозначать ускорение латинской буквой *g*.

В районе Москвы $g = 9{,}81$ *м/сек*^{2}, или 981 *см/сек*^{2}.

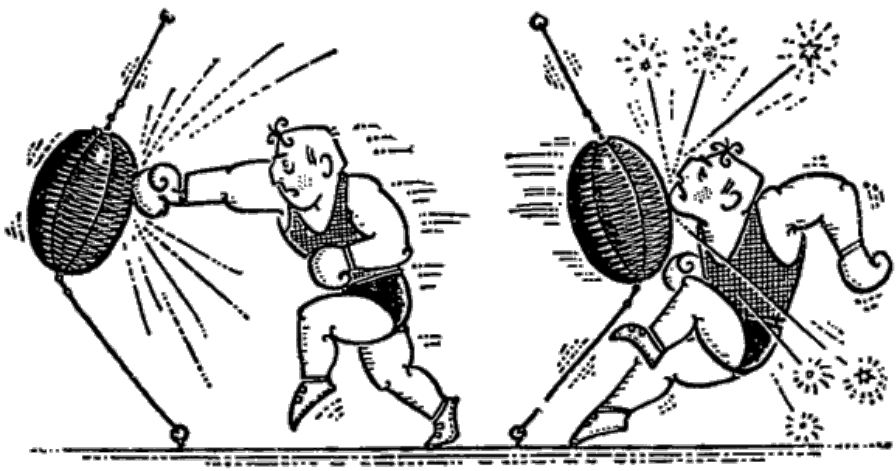
Оказывается, правы туркмены, считая, что мальчик, упавший с лошади, ушибется меньше, чем его родитель. Ускорение при падении взрослого и ребенка одинаково, но масса взрослого больше. Значит, упав, взрослый испытает со стороны поверхности

земли бóльший удар.

Еще один хороший пример проявления второго закона Ньютона мы можем привести, если перепишем его следующими словами:

> Сила равна произведению массы на скорость, деленному на время.

Эта формулировка особенно полезна спортсменам: она объясняет, как, например, надо ловить мяч, чтобы его не упустить или чтобы он не очень сильно ударил ловящего. Надо расслабить все мускулы, податься с мячом немного назад. Правильное поведение увеличивает время ловли мяча и тем уменьшает удар.



Можно сказать, что первый закон движения есть в некотором смысле частный случай второго закона. Когда на тело не действует никакая сила, то равно нулю и его ускорение. А когда нет ускорения, нет и изменения движения: тело, находившееся в покое, без внешней силы с места не сдвинется; тело же движущееся не может ни остановиться, ни увеличить или уменьшить свою скорость, пока на него не подействует внешняя сила, которой не было раньше.

В примере с падением с лошади и с ловлей мяча мы, не говоря об этом прямо, пользовались еще одним законом механики — третьим законом Ньютона.

Третий закон Ньютона — закон действия и противодействия может быть записан так:

> Всякому действию всегда есть равное и противоположное противодействие.

Третий закон движения Ньютона сплошь да рядом проявляет себя в повседневной жизни.

Никому еще не удавалось спрыгнуть с непривязанной лодки на берег так, чтобы не оттолкнуть при этом лодку: человек толкает лодку назад, лодка толкает человека вперед.

В реактивных самолетах и в ракетах горячие газы выбрасываются назад, а тело движется вперед.

Не столь, быть может, наглядное, но более распространенное проявление закона действия и противодействия — покоящиеся предметы в наших комнатах. Почему стол и стул стоят на месте, если их никто и ничто не двигает? Потому, что на них действуют со стороны пола силы, в точности равные их весу.

Мы потому смеемся над рассказом Мюнхаузена о том, как он самого себя вытащил за волосы из болота, что, даже когда не думаем об этом, смутно чувствуем чепуху: рука тянет волосы вверх, волосы тянут с той же силой руку вниз. По первому закону Ньютона все должно остаться на местах, так как нет неуравновешенной внешней силы.

Третий закон Ньютона интересен тем, что он говорит: одиночных сил в природе не бывает, они всегда встречаются парами, причем каждая из сил в такой паре равна и противоположна по направлению своей «напарнице».

«Противоположна по направлению»… Вот мы и подошли к важной и отличительной черте физики, точнее — к ее могущественному оружию: *пользованию направленными величинами*.

«Покорный вектор» — величайшее изобретение человечества

Всякая направленная величина в физике, то есть величина, для характеристики которой надо знать не только ее абсолютное значение (как говорят: модуль), но и направление в пространстве, называется *вектором*. Величина, вполне определяемая численным значением, называется *скаляром*. Примеры векторов: сила, перемещение (путь), скорость, ускорение. Примеры скаляров: масса, плотность, энергия, мощность.

Скаляр и вектор — физические понятия, точный смысл которых только что указан. Однако на «скалярность» и на «векторность» (отсутствие и наличие направленности) можно посмотреть и с гораздо более общей точки зрения. Мы сейчас попробуем сделать это, отмечая кавычками такой общий — не узкофизический — смысл «скалярности» и «векторности».

Конечно, само по себе существование векторов от человека не зависит. Векторы были и до возникновения жизни на нашей планете. По вектору падал камень, выброшенный извержением вулкана, по вектору двигалась Земля вокруг Солнца.

И все же без человека мир как бы «скалярен». «Скалярен» в том смысле, что векторы такого мира (связанные с существованием скоростей, ускорений, сил и т. п.) действуют хаотично, в целом служат не порядку в мире, как искусственно создаваемые человеком векторы, а беспорядку.

Приведу примеры, начав с бытового.

Дачник, открывающий весной после долгого отсутствия двери своей дачи, обязательно находит непонятные перемещения: книга, оставленная на столе, почему-то оказалась под столом; аккуратно сложенная стопка бумаги для машинки рассыпалась; ваза для цветов, как все прекрасно помнят, стояла в день отъезда полгода назад на этажерке, а сейчас ее обломки валяются на полу. «И ведь каждый раз случается что-нибудь подобное! — восклицает в сердцах хозяйка дома. — Почему не бывает так, чтобы книга, брошенная на кровати, оказалась на книжной полке, чулки — не посредине комнаты, а в комоде!»

В самом деле, почему никогда не наблюдается хоть маленького увеличения порядка? Почему бывает только так и кто повинен в этом вечном тяготении безнадзорного к беспорядку?

Повинна «скалярность» безнадзорной обстановки. Нет человеческого глаза — нет «вектора порядка», той полезной для людей направленности работы векторов, которая им так важна.

Другой пример. Могучий водопад роняет свои воды. Что изменяется в смысле этой фразы, если подразумевать сперва доисторический водопад, в окрестностях которого паслись стада питекантропов, затем — искусственный, современный, хотя бы тот, что на Ангаре, у Братской ГЭС?

Для инженера — очень много. Доисторический водопад — резервуар механической энергии, скалярной величины, не более. Примерно так же, как нефтяное поле — резервуар химической энергии, а раскаленные недра вулкана — энергии тепловой. «Водопад» у плотины Братской ГЭС — нечто более богатое. Падающая вода на некотором отрезке своего пути вращает лопасти турбины — развивает силу, вектор. Братский «водопад» не «резервуар» энергии, а ее «источник».

Тем, кто из-за своей далекости от физики порой путает понятия «энергия» и «сила», полезно вспоминать пример с водопадами, чтобы прояснялась разница.

Делая экскурс в прошлое нашего рода, можно сказать, что человек стал человеком в тот самый день, когда понял разницу между скаляром и вектором. И когда научился «покорять» векторы, заставлять их на себя работать, либо толково прилаживался к действию естественных векторов, либо создавал искусственные.

Конечно, ни понятий «вектор» и «скаляр», ни других, заменяющих их, в глубокую старину не применяли, но, по существу, было так: человек по звездам прокладывал свой путь — значит, пользовался векторами; острым камнем он освежевывал тушу медведя — следовательно, заставлял вектор работать на себя; на определенном уровне развития он принудил силу ветра вести по заданному направлению парусники — это было проявлением новой, высшей формы власти человека над векторами.

Труд, создавший человека, с физической точки зрения есть не что иное, как умелое и систематическое преобразование природы при помощи векторов. Ведь что такое любое орудие труда, как не «материализованный вектор» — вектор, заключенный в оболочку топора, стамески, шила.

«Покорный вектор», если хорошо подумать, — величайшее изобретение человечества.

Интересно, что в своем естественном развитии ни один нормальный человек не минует фазы, которую довольно точно можно было бы назвать фазой обучения векторам.

Чудесные законы развития индивида таковы, что он обязан прежде остального повторить путь эволюции своего рода. Вначале, уподобясь фантастическому существу, он с

головокружительной быстротой в утробе матери переживает удивительные метаморфозы. Поочередно он и амеба, и рыба, и ящерица, и обезьяна, наконец, родившийся человек. Ребенок, потом юноша продолжает этот бег. Только вместо биологической эволюции он мчится по дистанции эволюции психологической: царство примитивных, неосознанных инстинктов постепенно перестраивается в нем (не всегда, правда, до конца) в государство разума.

Именно здесь, на второй дистанции, человек обучается «векторам». Это игры, обыкновенные физические игры. Вначале проба сил и вместе с тем открытие возможностей окружающего «скалярного» мира — его энергий, масс и т. д.: игра в песочек, бег, возня, подбрасывание мячика. Затем знакомство с «векторами» (конечно, неосознанное) и постепенное усложнение «векторных» игр: бег на дистанции, футбол, хоккей. Соревнование прекрасно стимулирует поиск нужных «векторов» и их обоих элементов: мускульная энергия дает необходимую величину усилия, расчет и моментальность действия обеспечивают выгодное направление.

Игры — очень важные тренировки в достижении цели. Тренируются не только руки или ноги, тренируется само сознание. Настанет время, и юноша и девушка с такою же страстностью, как в игре, начнут искать нужный «вектор» и в серьезном деле: на заводе или в поле, в конструкторском бюро или в лаборатории.

Но вернемся к векторам в узком, физическом смысле слова. В механике поведение их определяется главным образом законами движения Ньютона. Поэтому когда великий английский естествоиспытатель сформулировал свои три закона, перед учеными и инженерами открылось необозримое поле деятельности по практическому их применению.

Одна из областей, где эти законы применяются с нарастающим успехом, — это область движения бросаемых тел или метательных снарядов.

Издавна люди интересовались, как бросить возможно дальше какой-нибудь предмет: копье, камень, диск, стрелу, пулю, артиллерийский снаряд, ракету. И что же? Благодаря механике и другим наукам сегодня для Земли такой задачи больше не существует. Забрасывают — дальше некуда: предмет летит в любую точку земной поверхности и достигает ее за кратчайший срок.

Могут с горечью сказать: «Разве это достижение! Неужели только и думали о том, чтобы подчинить законы механики задачам устрашения, задачам войны!»

Однако дело в ином. Само по себе достижение механики никому не угрожает; важно, как его повернуть. Фашизм и без межконтинентальных ракет, и без атомной бомбы привел к уничтожению пятидесяти миллионов человек. Напротив, ракеты, так же как и атомная энергия, могут служить самым благородным целям.

Во-первых, межконтинентальной ракете не обязательно нести смертоносный груз. Существуют проекты создания всемирной системы срочной почты и переброски срочных грузов (например, редких медикаментов тяжелым или даже умирающим больным) с помощью баллистических снарядов. Во-вторых, есть цели и более далекие, чем отдаленнейшие точки Земли, а достижение их имеет явно мирный, не военный характер. Советские ученые послали свои ракеты и за пределы поля тяготения родной планеты. Проложив пути к Луне и к планетам Солнечной системы, они показали, как законы механики могут служить увлекательным целям познания природы за пределами Земли.

Все же область движения бросаемых тел имеет ограниченное применение. Люди больше заинтересованы в движениях тел, возвращающихся к исходной точке: вращательных и круговых, колебательных, возвратно-поступательных, несимметричных (криволинейных, по ломаным линиям и т. д.). От тел, совершающих такого рода движения, можно получать

систематическую отдачу, полезную работу. Успехи в области использования этих движений огромны.

Пожалуй, самые распространенные из перечисленных движений, имеющие наибольшее практическое значение в деятельности и жизни людей, — это движения вращательные, особенно равномерно вращательные. Крутятся детали на станках, крутятся колеса вагонов и автомобилей, на самолетах вращается гироскоп, помогающий летчику придерживаться заданного курса, — все это лишь немногие из фактически существующих применений в технике и на транспорте равномерного вращательного движения.

У равномерного вращательного движения есть одна существенная особенность. Хотя оно и равномерно, все же оно ускоренное движение. Любой элемент вращающегося предмета (кроме центра), следуя закону инерции, стремится оторваться и двигаться дальше по прямой линии, в данном случае по касательной. Но он не отрывается, на него действует постоянно направленная к центру вращения особая, центростремительная сила. А там, где сила, — там, согласно второму закону Ньютона, и ускорение. Оно, как и сила, — вектор и «смотрит» туда же, куда вектор силы: в центр вращения. И всегда, в отличие от прямолинейного движения, вектор скорости здесь перпендикулярен вектору ускорения.

В этом случае действует и третий закон Ньютона — закон действия и противодействия. Он проявляет себя в том, что наряду

с центростремительной силой есть равная ей по величине, но противоположно направленная центробежная сила.

Как замечательно работает вектор центробежной силы, можно показать на примере устройства, основанного на использовании в наиболее чистом виде вращательного движения, — центрифуги.

Центрифуга, применяемая для отделения сливок от молока, называется сепаратором. Вероятно, всем известен принцип этого устройства: центробежная сила больше для более тяжелых частиц, и так как разница в поведении между сравнительно легкими частицами (в данном случае сливок) и более тяжелыми (в данном случае молока) становится при больших скоростях вращения значительной, то молоко, прижимаясь к стенке барабана, быстро отделяется от сливок, собирающихся вдоль оси.

Сегодня применение центрифуг в различных областях техники значительно расширилось.

Их применяют как быстрые и эффективные сушильные устройства. В барабан закладывают ткани или растительные продукты, вода при вращении выбрасывается из их пор, а затем и из барабана через специальные отверстия в его стенках. Медики пользуются центрифугами, чтобы выделять из плазмы крови кровяные тельца или вирусы и микробы. Химики во вращающихся барабанах очищают от твердых примесей самые различные смеси.

В последние годы появились центрифуги, делающие тысячи оборотов в секунду. В них развиваются центробежные силы, в сотни тысяч раз превышающие силу тяжести. В таких центрифугах можно отделять даже более тяжелые частицы воздуха — молекулы кислорода — от более легких молекул водорода.

Созданы и работают ультрацентрифуги, висящие просто в воздухе. Их удерживает от падения магнитное поле. Отсутствие потерь на трение в подшипниках позволяет им развивать совершенно бешеные скорости. Так, ультрацентрифуги, приводимые в движение струей воздуха или газа, делают в секунду 20 тысяч оборотов.

По существу, все современные механические устройства и машины — прежде всего материализация, воплощение законов Ньютона. Если с точки зрения конструктивной в основе большинства из них лежат все те же шесть простых машин, что применялись древними три тысячи лет назад (человек и тогда видел правильно природу): рычаг, блок, ворот, наклонная плоскость, клин, винт, — то в смысле принципиальном современные устройства не что иное, как более умелое и тонкое пользование векторами.

Что значит «более умелое пользование векторами», можно пояснить на примере транспортных конструкций.

О каком бы виде транспорта мы ни говорили (железнодорожном, воздушном, водном и т. д.), мы ясно представляем, что основной, интересующий всех вектор в этом случае — вектор скорости. Кажется, так просто «в лоб» и надо стремиться «удлинять» его, то есть увеличивать быстроту движения: все более совершенствуя старые конструкции двигателей, выбирая лучшие виды топлива, высокопрочные и жароустойчивые материалы, повышая коэффициент полезного действия двигателей, снижая всяческие потери, и т. п.

До некоторых пор это и происходит. В железнодорожном транспорте, например, замена паровозов тепловозами и электровозами позволила значительно ускорить движение поездов. Курьерский поезд Ленинград — Москва (на электровозной тяге) может двигаться со скоростью до 160 *км/час*. В Японии с 1963 года на некоторых участках железнодорожного пути движутся суперэкспрессы, развивающие скорость свыше 240 *км/час*.

В авиации применение реактивных и турбореактивных двигателей вместо поршневых дало возможность увеличить скорость самолетов до тысячи и больше километров в час, в то же время увеличив их грузоподъемность.

Мощные двигатели внутреннего сгорания на морских судах, вытесняя паровые турбины, поднимают быстроходность судов. Особенно в этом смысле много сулят турбины внутреннего сгорания, иначе говоря, газовые турбины, опыты с которыми пока не закончены. Усовершенствование двигателей, конструкции корпусов судов и др. привело к тому, что теперь даже грузовые суда мчатся по морским просторам со скоростями до 20 узлов (то есть 37 *км/час*) — почти вдвое быстрее, чем было 30–40 лет назад.

Все идет хорошо, вектор скорости транспортных установок «удлиняется». Но наступает день, и конструкторы вдруг убеждаются, что они выжали из старых идей, по которым создавались самолеты, корабли и т. д., почти все. Нужны какие-то новые идеи, такие, о которых говорят, что они несут с собой научную или техническую революцию. Дальнейшее увеличение вектора скорости производится уже иным, революционным путем.

Возьмем, например, авиацию. Та скорость, с которой сейчас летают реактивные пассажирские самолеты, близка к скорости звука, то есть приближается к 1200 *км/час*. Чтобы воздушные корабли летали вдвое, втрое, вчетверо быстрее этой скорости, нужно решить ряд новых задач, которые не возникали раньше.

Например, преодолеть очень быстро возрастающее давление воздуха перед самолетом. При скорости полета, вдвое превышающей скорость звука, давление воздуха может увеличиться в 7 раз против атмосферного, при трехкратной скорости звука — в 36 раз, при четырехкратной — в 150 раз. Еще немного, и самолет сожмет воздух до плотности воды (вода плотнее приземной атмосферы в 770 раз).

В СССР создан сверхзвуковой пассажирский воздушный лайнер «ТУ-144», крейсерская скорость которого составляет 2500 *км/час*. Его создателям — отцу и сыну Туполевым, Андрею Николаевичу и Алексею Андреевичу, — пришлось ввести в конструкцию самолета ряд новшеств. Например, «ТУ-144» не имеет хвостового оперения, а в полете опирается на единственное крыло-треугольник, форма которого меняется в зависимости от режима полета.

Решение задачи создания самолетов с еще более высокими скоростями подсказывает инженеру блестящую идею: превратить плохое в хорошее, заставить высокое давление воздуха не мешать полету, а работать на него. Так появляется проект двигателя будущего гиперзвукового (то есть летящего намного быстрее скорости звука) самолета в виде так называемого прямоточного воздушно-реактивного двигателя, или, как иногда говорят, «летающей топки». В нем нет компрессора, сжимающего воздух в двигателях современных турбореактивных самолетов (воздух сжат и так!), нет и турбины, не отделимой от компрессора.

Это в буквальном смысле слова революционное конструктивное решение, особенно интересное и тем, что оно отражает еще одну тенденцию технического прогресса: *сперва все усложняется, затем резко упрощается*.

Конечно, возможны и другие, не менее революционные решения. Конструкторы, задумываясь над самолетами будущего со скоростями, превышающими в 6–8 раз звуковую, заимствуют идеи из самой природы.

Механика полета птиц намекает им на возможность применения шероховатой поверхности крыла: это благоприятствует созданию воздушной подушки вокруг крыла и тем самым уменьшает трение в полете. Разрезное крыло самолета, подобно крылу птицы, должно увеличить подъемную силу. Применение машущих крыльев позволит уменьшить лобовое сопротивление самолета, так как крылья можно уменьшать в сечении, перпендикулярном потоку воздуха.

Приведу небольшой пример революционной идеи, осуществляемой сейчас в речном и морском флоте.

С некоторых пор на советских реках появились

комфортабельные суда на подводных крыльях — «Ракета», «Метеор» и др. Подводные крылья позволили значительно увеличить подъемную силу судна (как происходит на самолетах) и выводить его на поверхность воды. Это резко снижает сопротивление воды и при том же тяговом усилии соответственно увеличивает скорость судна.

Скоро такие же быстроходные суда появятся и на морях.

Когда мне довелось работать над созданием международного научно-популярного ежегодника «Наука и человечество» (идею ежегодника лучше всего выражает его девиз: «Доступно и точно о главном в мировой науке»), мы с художником Эрнстом Неизвестным долго ломали голову над эмблемой. В конце концов художник нарисовал Прометея, похищающего для людей огонь. Эмблема получилась прекрасной, сейчас ее знает весь мир.

Но потом меня стали грызть сомнения: такая ли эмблема должна олицетворять движение человеческой мысли вперед?

Мне вспомнилось вычитанное в книге описание одного научного торжества в начале века — торжества, на котором присутствовал и Климент Аркадьевич Тимирязев. Было это в Дрездене, а официальным поводом послужило освоение в Норвегии синтеза азотной кислоты путем окисления атмосферного азота по методу Биркеланда. Торжество происходило в зале, украшенном двумя аллегорическими фресками. Одна из них изображала Прометея, похищающего небесный огонь; она символизировала науку. На другой была изображена толпа первобытных людей, преклонившаяся перед человеком, перемещающим с помощью рычага непосильную тяжесть. Эта картина символизировала технику.

«Скаляр» и «Вектор» — так можно было бы назвать идеи аллегорий.

Какая же картина больше выражает человечество? Пламя или рычаг, скалярное число или стрела, вектор?

Пламя — символ жизни, но жизни всякой, в том числе и не озаренной светом знания. А человек проложил себе дорогу вперед при помощи силы разумной и устремленной. Вероятно, не Прометей, а та, другая картина больше подошла бы для выражения идеи человечества.

Тяготение в элементарном смысле

Механика так плотно окружает нас со всех сторон, что мы ее не замечаем, как не замечаем воздуха, которым дышим, и воды, которая попадает в организм с пищей. Но будь мы повнимательнее, мы быстро догадались бы, что без механики у человека единственная перспектива — одичать. Пожалуй, нет средства более надежного — превратить современного Homo sapiens (человека разумного) в питекантропа, чем запретить ему пользоваться орудиями механики.

Завязываем ли мы шнурки, застегиваем ли пуговицы, пропускаем ли мясо через мясорубку или вколачиваем гвоздь в стену — во всех случаях мы имеем дело с механическими машинами, во всех случаях вызываем силы и управляем ими.

Неважно, что машины разной сложности. Конечно, шнурки или пуговицу в петле не сравнить с пылесосом и стиральной машиной, но и там и тут производится преобразование сил, и то и это является различными формами механических машин.

Присмотримся к силам той механики, которая доступна нашему взору. Если бы мы стали их классифицировать и записывать, у нас быстро появился бы целый список. Здесь окажутся силы упругости, то есть те, что стремятся вернуть телу его прежние размеры и форму (спиральная сбивалка для яиц, щетина платяной щетки, сжатая часовая пружина); силы, действующие между соприкасающимися телами, в первую очередь силы контактных напряжений и силы трения; силы, обязанные своим происхождением давлениям в жидкостях и газах (предметы, плавающие на воде, пульверизатор, подпрыгивающая крышка кастрюли, в которой кипит вода, надутая камера велосипеда); бесчисленные проявления силы тяжести — падающие тела, вес.

Получается длинный список, но если бы мы глубоко над ним задумались, то увидели бы, что один вид этих сил резко отличается от всех других. Это силы тяжести. Они единственные, которые:

всегда глядят в одну и ту же точку — в центр Земли;

не требуют для своего проявления никаких внешних вмешательств, кроме как физического помещения в той или иной точке пространства носителя этой силы — тела, точнее, тела, интересующего нас как объект действия силы тяжести. Величина силы тяжести пропорциональна массе, а это, как мы видели, ведет к свободному падению всех тел с одним и тем же ускорением, равным g.

Другие механические силы как будто и различаются между собой, но, по мере того как постепенно выяснялась структура вещества, становилось все яснее, что они все связаны с этой структурой и могут быть объяснены одинаково. Так как вещество состоит из молекул, все механические силы негравитационного (гравитация — тяготение) происхождения являются в конечном счете следствием сил, действующих между молекулами.

А между молекулами действуют главным образом силы электромагнитной природы (в частности, открытые в конце XVIII века Огюстом Кулоном и называемые сейчас *кулоновскими* или *электростатическими*). Поэтому можно сказать, что механика Ньютона имеет дело всего с двумя видами сил: гравитационными и электромагнитными.

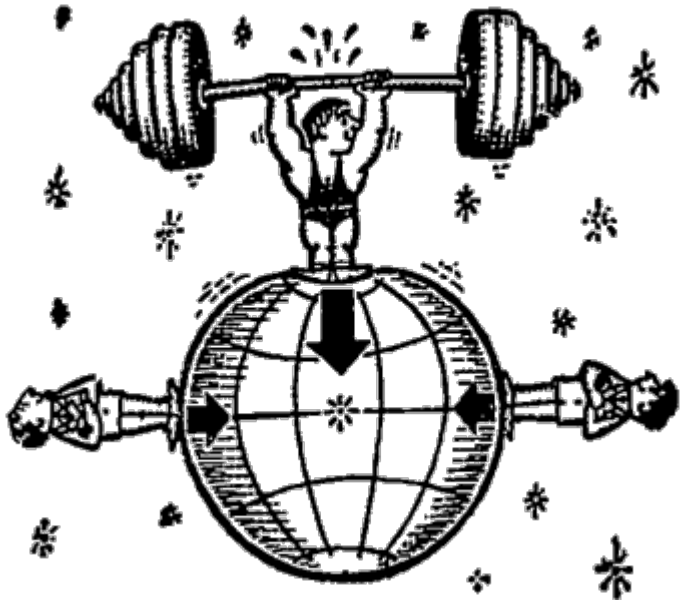
О существовании второго вида сил в механических процессах Ньютон не догадывался, зато еще в двадцатитрехлетнем возрасте он сделал гениальное открытие в области гравитации — открытие так называемого *закона всемирного тяготения*.

Исследуя движение планет и обратив внимание на то, что Земля ведет себя как магнит, Ньютон задался вопросом: а не являются ли и Солнце, и Луна, и все другие планеты тоже магнитами, удерживающимися на своих орбитах благодаря взаимному притяжению?

На вопрос этот он ответил отрицательно. Он сказал, что Солнце очень горячо, а если магнит нагреть до высокой температуры, то его магнитные свойства исчезают. Видимо, здесь действуют совсем иные причины, и в конце концов он сформулировал свой вывод так:

> Всякие два тела притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.

То есть если масса одного тела увеличится, скажем, вдвое, то сила взаимного притяжения обоих тел немедленно возрастет вдвое. Уменьшится в три раза против прежнего расстояние между телами — сила притяжения тотчас возрастет в девять раз.



Нужно сказать, что масса, о которой здесь говорится, это не та физическая величина, что рассматривалась нами при обсуждении второго закона Ньютона. Ту величину точнее следует называть *инертной* массой, а эту — *гравитационной* массой. Но один из замечательных законов физики заключается в том, что обе массы равны друг другу. Мы, не говоря об этом, уже пользовались названным законом, пользовались, когда выясняли, почему все тела падают с одинаковым ускорением.

Предельная простота и точность закона тяготения поразительны. Он всегда подтверждается на практике и дает возможность узнавать величину сил тяготения, возникающих между любыми парами материальных тел — от земных предметов до планет и звезд.

Пользуясь этим законом, можно подсчитать, например, что сила притяжения между Землей и Луной равна приблизительно $2 \cdot 10^{20}$ ньютонов (или в старых единицах — $2 \cdot 10^{19}$ килограмм-сил), а между Землей и Солнцем — примерно $3{,}6 \cdot 10^{22}$ ньютонов ($3{,}6 \cdot 10^{21}$ килограмм-сил).

Все в законе всемирного тяготения Ньютона могло удовлетворить требовательного исследователя — лаконичность, строгость, универсальность (он объяснял самый широкий круг явлений: от движения планет до морских приливов и падения свободных тел на Землю — все, кроме одного: он не объяснял самой природы тяготения). Если бы тяготение было просто магнетизмом, можно было бы думать, что знаешь о причинах притяжения разных тел: магнетизм был известен раньше, знали

также, что и сила притяжения двух магнитных полюсов резко увеличивается с уменьшением расстояния между ними. Что же такое тяготение, каковы причины этой силы?

Сам Ньютон с присущей ему честностью говорил:

> «До сих пор я изъяснял небесные явления и морские приливы на основании силы тяготения… Причину свойств силы тяготения я до сих пор не мог вывести из явлений, гипотез же я не измышляю… Довольно того, что тяготение на самом деле существует».

Таким образом, получается как будто бы так: что-то объяснив, Ньютон тут же поставил новую большую проблему; решив одну загадку, он тут же расписался в непонимании загадки более широкой, общей.

Похоже, как в том, довольно злом, но в общем-то не обидном анекдоте, где профессор радостно сообщает своему больному:

— А у меня для вас интересные новости. Мы считали все время, что вы заболели от контактов с каким-то другим больным. Но сейчас науке удалось установить, что от обыкновенных контактов инфекция вашей болезни не передается. Мы можем наконец уверенно сказать, что не знаем, от чего вы заболели.

Не нужно, однако, переоценивать загадочность этой «загадки» — «что такое тяготение?». Правильнее, вероятно, не пытаться обязательно свести тяготение к чему-то другому, более фундаментальному, а принять, что существование гравитационного поля (поля тяжести) само есть один из наиболее фундаментальных физических фактов.

Многим кажется удивительным, как же это Луна не падает на Землю, почему не падают на Землю под влиянием всемирного тяготения искусственные спутники? А ответ прост: *они падают!* Спутники падают, причем почти с тем же именно ускорением, с каким падают вниз на нашей планете все тела: с ускорением $g = 9{,}8$ *м/сек*^{2}. Вспомните о круговом движении: если бы не было постоянного падения, тело сошло бы с орбиты и по касательной к ней улетело в мировое пространство.

Ученые в своих расчетах при выводе спутников на орбиту исходят именно из величины g, чтобы выяснить, какую скорость надо придать спутнику. Оказывается, 8 *км/сек*. Это постоянная величина для нашей планеты, и она имеет специальное название: *первая космическая скорость*.

Но что означает здесь слово «первая»? Разве есть и *вторая космическая скорость?* Да, есть. Она равна приблизительно 11,2 *км/сек*. Если выстрелить ракетой с такой начальной скоростью, то она навсегда покинет окрестности нашей планеты, превратится в

искусственный спутник Солнца.

Многое, очень многое подсчитывается по законам Ньютона — трем законам движения и закону всемирного тяготения. И все же сегодня мы обязаны сказать: очень многое, но не все. Явившись высоким уточнением прежних представлений о движении, механика Ньютона, в свою очередь, тоже несла в себе свое ограничение, свои пределы применения.

Весьма важно, и это, собственно, является завершающей частью всякого исследования, четко определить, до каких границ был сделан вывод, какой объем, какую сферу охватила данная теория.

Поговорим об этом. Посмотрим, что охватила Ньютонова механика и в чем заключается ее ограниченность.

Однако прежде мы должны сказать несколько слов о «четвертом титане» физики и космологии — Альберте Эйнштейне (помните? Аристотель, Галилей, Ньютон, Эйнштейн). Ведь это он раздвинул галилее-ньютоновские границы познаваемого мира, он первый показал ограниченность механики, созданной Ньютоном.

«Вождь великой относительности»

Любопытно, что и Эйнштейн, подобно Ньютону, в раннем своем детстве не давал оснований видеть в себе зачатки гениальности. «Из вас, Эйнштейн, никогда ничего путного не выйдет», — сказал ему однажды без обиняков учитель немецкого языка.

Эйнштейн родился весной 1879 года в германском городе Ульм, а в юношеском возрасте уехал в Швейцарию. Там он сделал попытку поступить в Цюрихский политехникум, но попытка не удалась: блестяще сдав математику, он срезался на языках и… естественных науках. В письмах к друзьям он часто называл себя «неудачником», но это не отравляло ему настроения.

«Я веселый зяблик, — писал он же о себе, — и не способен предаваться меланхолии!»

Педагогический факультет он все же в конце концов окончил и стал работать сотрудником патентного бюро. Одновременно он занялся научными исследованиями и тут-то начался его взлет.

После опубликования Эйнштейном первых научных трудов он был приглашен на должность профессора Цюрихского университета. В 1914 году Эйнштейн переехал в Берлин и вел там научную работу вплоть до прихода к власти фашистов.

В 1933 году он эмигрировал из Германии в Америку и занимался там преподавательской и научной деятельностью вплоть до самой смерти (в 1955 году). Жил он в тихом университетском городке Принстоне.

Эйнштейн уже в 26 лет разработал новую, необычную теорию пространства и времени, которая прославила его имя. Затем связал пространство и время с тяготением и развил свою теорию на более общий случай. Первую теорию он назвал частной (или специальной) теорией относительности, а вторую — общей теорией относительности. Слава обеих теорий была настолько велика (хотя первоначально мало кто их понимал), что письма, адресованные двумя словами: «Европа, Эйнштейну», — незамедлительно доставлялись адресату.

Когда однажды Эйнштейн посетил в американском штате Аризона индейское племя, индейцы присвоили ему имя «Вождь Великой Относительности» и подарили костюм вождя.

Эйнштейн всегда стремился к уединению. Он утверждал, что идеальное место для работы ученого — это должность смотрителя маяка. Эйнштейн очень любил прогулки на яхте и игру на скрипке. Юмору он остался верен до последних своих дней. «Юмор и скромность создают равновесие», — говорил он.

Ограниченность классической механики

Когда хотят выразить особое уважение к той или иной работе, теории или человеку, говорят: «Вот это класс!», или «Это классическая теория», или «Он — классик». Совсем не обязательно (как думают иные), чтобы речь шла о давно прошедшем. Если так и получается по большей части, то только потому, что на расстоянии лучше видится. Мы и от живого-то человека отходим слегка, чтобы его получше разглядеть, и от картины, и от здания.

Лишь в наиредчайших случаях, зато при исключительных обстоятельствах, при исключительной уверенности мы говорим о современнике: «Он — живой классик». Но как бы редко это ни бывало, это подтверждает все же высказанную мысль, что в классики «выходят» за реальные выдающиеся заслуги, а не за выслугу лет.

Механика Ньютона единодушно всеми и всюду называется «классической механикой» именно в силу своей совершенной безупречности для тех пределов, для которых ее разрабатывали Ньютон и его научные последователи. Тем интереснее разобраться, с каких позиций она представляется приближением, введением в какую именно физическую теорию она является.

Оказывается, есть целых три «физики», точнее, три больших раздела современной физики, которые учитывают нечто такое, чего не учитывал Ньютон, и которые являются следующими шагами в развитии физической картины мира. Названия этих разделов: частная теория относительности, общая теория относительности и квантовая механика.

Каждый новый раздел представляет собой более общую теорию, чем была теория Ньютона. Ни одна из этих теорий не отбрасывает классической механики, а включает ее в себя, выводит Ньютоновы законы при тех или иных упрощениях, выводит, когда становится приблизительной.

Частная (или специальная) теория относительности, созданная великим физиком нашего времени Альбертом Эйнштейном, выросла из механики, оптики и электромагнетизма. Одно из ее исходных положений заключается в том, что в природе есть предельная скорость — это скорость света в вакууме, равная всегда и всюду приблизительно 300 тысячам *км/сек*. Никакое движение тела, никакое изменение состояния материальной среды не может происходить с большей скоростью.

В отличие от классической механики, молчаливо убежденной, что скорость тел никак не может повлиять на их

массу, линейные размеры, объем и на промежутки времени, частная теория относительности доказывает, что в направлении движения тела́ становятся короче, их массы с ростом скорости становятся больше, объемы меньше, явления, происходящие с движущимися телами, продолжительнее.

Общая теория относительности, она же релятивистская теория тяготения («релятивизм» значит «относительность»), учитывает влияние тяготения на свойства пространства и времени.

Здесь можно провести одну любопытную историческую параллель между учением Аристотеля и учением Ньютона, и мы не преминем это сделать.

Когда Аристотель формулировал свои законы движения, он не задумывался над тем влиянием, которое оказывает на падающее тело среда: в данном случае воздух, тормозящее действие (трение) его молекул. И в общем-то по-своему в сделанных выводах греческий философ был прав: все же видят, что морская галька падает быстрее веточки акации.

Примерно то же допущение (но не ошибку!) делал и Ньютон (как Аристотель, сам того не подозревая); формулируя свои законы движения, и он не задумывался над той зависимостью, которая имеется между свойствами движущегося тела и характером «среды»: в этом случае — системы отсчета, относительно которой рассматривается движение. Там, где эта зависимость практически несущественна, Ньютон совершенно прав: в условиях нашей земной жизни, а также наблюдая за движением небесных тел, мы убеждаемся на множестве примеров, что все законы Ньютона строго соблюдаются.

Аристотель полагал, что когда он смотрит прямо перед собой в ясную голубизну пространства, то до тех пор, пока взор не встретит какого-нибудь предмета — дерева, птицы, пылинки, — перед ним предельно осуществимая в природе «пустота», в которой происходят все события при появлении в ней предметов. В идеальный вакуум, в пустоту без воздуха и иного содержимого, Аристотель, как мы помним, совсем не верил.

Ньютон видел в окружающем пространстве прежде всего некоего материального посредника сил тяготения, среду, через которую они передаются, как волны через воду моря. Он писал своему другу:

> «Допустить, что тело может действовать на другое тело на расстоянии через пустоту без вмешательства какого-либо посредника, мне кажется таким абсурдом, что, я думаю, ни один философски мыслящий человек не

сможет примириться с этим».

Позднее, во второй половине XIX века, идея гравитационного посредника получила всеобщее распространение как идея мирового эфира. Нетрудно видеть, что эта идея тесно связана с признанием существования абсолютного пространства, отождествляемого Ньютоном с идеальной пустотой.

Абсолютное пространство, как некое неограниченное вместилище, является ареной, где располагаются тела и разыгрываются события. Само оно не зависит от материальных тел, наполняющих его, и от их движений. Если бы каким-нибудь чудесным образом из пространства можно было вынуть все тела, то оно ничуть не изменилось бы, как остается неизменным ящик, когда из него высыпают все апельсины.

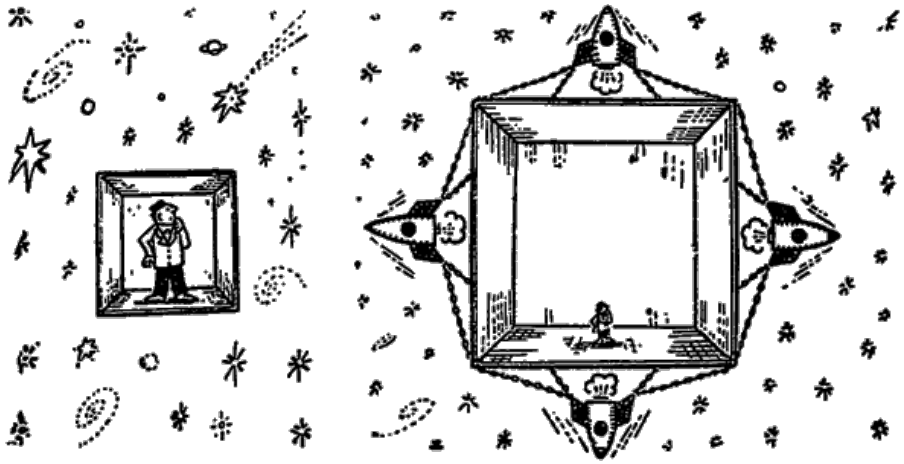
Это пространство считали «плоским», или Евклидовым, то есть обладающим свойствами, сформулированными великим греческим геометром Евклидом (смысл слова «плоское» станет ясным чуть дальше).

Оторванно от материальных тел и от их движений Ньютон понимал и сущность времени. Время тоже абсолютно в учении Ньютона. Если пространство представляет собой, так сказать, «чистую протяженность», то время есть поток «чистой длительности». Оно неограниченно, его течение совершенно равномерно.

Абсолютное пространство и абсолютное время, по Ньютону, существуют независимо не только от движения материальных тел, но и друг от друга.

Наглядно мир Ньютона можно изобразить следующим образом.

Вообразим себе обыкновенную прямоугольную комнату, расположенную где-то во Вселенной далеко от небесных тел. В комнате нет никаких предметов, частиц, полей. Теперь сделаем умственное усилие и допустим, что стены комнаты, ее потолок и пол вдруг стали раздвигаться, пока не убежали в бесконечность. В такой-то «комнате» и вершатся явления природы в соответствии с законами классической механики. Пространство этой «комнаты» неподвижно, пребывает в абсолютном покое.



Вот та иллюстрация, которая помогает наглядно представить Ньютоново абсолютное пространство.

Можно пояснить и время.

Комната «живет» не одно мгновение. Бесконечная длительность ее существования безотносительно ко всем процессам, которые могут в ней протекать, дает представление и об абсолютном времени.

В подобную «комнату», в Евклидов мир, тяготение, как и любое физическое явление, должно быть привнесено откуда-то извне, «из-за пространства» и «из-за времени».

Оказывается, однако, как показал тот же Эйнштейн, тяготение и свойства пространства и времени тесно связаны между собой. Тела, следуя определенным законам, «искривляют» пространство и удлиняют промежутки времени, а искривленное пространство оказывает свое влияние на траектории движущихся тел. Кажется, что тело движется все время по прямой, а в действительности оно движется по какой-то кривой, радиус которой определяется местными свойствами пространства. Отдаленно это напоминает человека, отправившегося по экватору прямо вперед и незаметно начавшего описывать кривую вокруг земного шара.

Третье направление, двигаясь по которому классическая механика встречает себе препятствие, — это направление к миру молекул, атомов, элементарных частиц, подчиняющихся законам иной, квантовой механики.

Неприменимость принципов Ньютона в этой области может быть проиллюстрирована наглядно невозможностью делать здесь некоторые утверждения, обычные для классической механики.

В мире больших масштабов, в мире нашей практики мы можем сказать: передняя плоскость поезда, движущегося с определенной скоростью из Ленинграда в Москву, ровно в шесть часов утра пересекает переднюю плоскость платформы станции Клин. В микромире, как мы увидим, когда займемся квантовой механикой, такие утверждения невозможны (см. стр. 164).

Получается три рубежа, три зоны недоступности для классической механики. Не многовато ли?

Не передвигаются ли интересы техники и науки все больше за эти рубежи, так что скоро и вообще лишь за ними будет происходить важнейшее?

Возможно ли развитие самой классической механики в наши дни или она постепенно превратилась во вспомогательную науку, знать которую, конечно, необходимо, но которая больших горизонтов не раскроет?

Обидно было бы изучать классическую механику, выучиться, скажем, на инженера и вдруг услышать:

— Э-э, батенька, сейчас век атомной энергии. Ваши знания нам ни к чему. Занимайтесь-ка квантовой механикой!

Получилось бы, как в анекдоте, где один малыш жалуется другому на родителей:

— Сперва они учили нас ходить и говорить, а теперь требуют, чтобы мы сидели и молчали.

К счастью, такой разговор никому не угрожает.

Сегодня в числе бурно развивающихся наук — науки, вырастающие из классической механики, как ее развитие и усложнение. Среди них такие, например, увлекательные науки, как гидродинамика и аэродинамика, теория упругости и акустика. С теоретической стороны они прямые продолжения Ньютоновой механики: оттуда их методы и принципы, дополненные постепенно гипотезами, подсказанными опытом. Там, где требуются более практические выводы, ученые и инженеры обращаются тоже к вышедшим из классической механики наукам — сопротивлению материалов и гидравлике. Можно привести и другие примеры.

Человек правильно видит природу и создает правильные, неумирающие науки.

Ограниченность классической механики — это, скорее, ее сосредоточенность, столь нужная, когда стоишь перед решением больших и очень разных по характеру проблем.

Как познавались законы и открывались тайники энергии

Путаница и разъяснение понятий

Окно, у которого я пишу, выходит во двор большого интерната. Мальчишки часто дуются в футбол, а притихшие болельщики-девочки порою вдруг взрываются бурным шквалом голосов, что позволяет мне и не глядя подсчитывать число забитых голов. Когда восторг уж слишком ярок, я выглядываю в окно. Кроме смущенно торжествующих ребят и дико скачущих девчонок, я вижу мелюзгу, копошащуюся у невесть зачем вырытой у футбольных ворот прямоугольной ямы с водой (правда, глубиной воробью по колено). На душе становится легко, и строчки словно бы охотнее ложатся на бумагу.

Однажды мое внимание привлекла совсем другая картина. Футбола и ребят на поле не было (вероятно, шли занятия), а из окна второго интернатского этажа женщина в белом выбрасывала узлы с бельем. Рядом с растущей горкой белья стоял голубой «пикап», видимо из прачечной. Вдруг — я даже обомлел — вслед за последним узлом из окна на горку выпрыгнула и сама женщина. Было очень смешно. Потом я подумал: «Физики, поди, не знает, а ведь сообразила, как сэкономить свою работу. Понимает, что одно дело — пойти по коридору, спуститься вниз по лестнице, открыть наружную дверь и т. д. и совсем другое — подобрать юбки и так вот запросто выпрыгнуть в окошко. Благо, думает, никто не наблюдает».

Сама того не подозревая, кастелянша (вероятно, это была она) наглядно продемонстрировала важнейшую физическую величину: *работу*. Физика говорит:

> Работа равна силе, действующей вдоль перемещения, умноженной на это перемещение.

А здесь как раз и то и другое: сила (вес кастелянши) и перемещение (высота подоконника второго этажа над землей). Могут обратить внимание на то, что работу совершила не сама кастелянша, а земное тяготение. Совершенно верно. Но мы в данном случае говорим лишь об *определении* этой физической величины, и нас не интересует ее источник.

Запомнить краткое и ясное определение работы чрезвычайно важно, потому что в повседневной жизни люди часто под этим словом понимают что-нибудь иное. Футболисты удивляются, когда им говорят, что их игра — тоже настоящая работа (а это так и есть). Зато иной раз школьник задает учителю вопрос: «Почему гирю тяжелее поднять, чем проволочить на то же расстояние по

земле? Ведь работа одна и та же: вес гири, помноженный на ее перемещение». И учитель терпеливо разъясняет, что при качении или протяжке по земле работы совершается немного, только та, что нужна, чтобы преодолеть сопротивление трения. А гиревик, как известно, работает против силы тяготения, перемещает гирю от земли.

Работа — это произведение не всякой вообще силы на перемещение, а только той, что действует *вдоль* перемещения.

Поэтому центростремительная сила, например, не производит работы. Она перпендикулярна перемещению (всех точек шкива), а в этом случае работа силы равна нулю.

Разноголосица в употреблении слова «работа» создается в большой степени тем, что мы охотно применяем это слово в областях, иногда далеких от физики. Там же оно звучит порой не похоже на то, что подразумевается в физике.

Кто из школьников, сомневающихся в том, что игра в мяч — работа, в то же время не соглашается охотно, что работа — это не только пилить и колоть, но и заниматься, сидеть спокойно в классе, внимательно слушать преподавателя. (Правда, почему-то это часто понимается односторонне: у взрослых молчаливая деятельность ума не всегда признается за работу.)

Единица измерения работы в новой системе мер (СИ) — ньютон силы на метр пути, или джоуль (*дж*). Когда хотят воспользоваться более мелкими единицами, принимают эрг — одну десятимиллионную часть джоуля. Джоуль, таким образом,

равен 10 000 000 эргов. А тот, кто хочет представить себе наглядно эрг, может воспользоваться следующими сравнениями. Эрг немногим больше той работы, которую совершает человек, чтобы раз моргнуть. Комару, чтобы перелететь с мочки уха на его верхушку тоже надо совершить примерно эрг работы.

Мы начали эту часть с определения работы. Так же пойдем и дальше. Разберем еще понятия «мощность» и «энергия». Их часто путают одну с другой. Их путают даже со словом «сила». Поэтому, прежде чем говорить об этих величинах, надо внести ясность в их определение.

Что же такое *мощность*?

Спросите разных людей, чем, по их мнению, будет отличаться наиболее мощный автомобиль от остальных, и вы получите разные ответы. Одни скажут: самый мощный автомобиль — это тот, который тащит больше остальных; другие возразят: нет, самый мощный автомобиль тот, который развивает наибольшую скорость; третьи за мерило мощности почитают крутизну подъема, преодолеваемого автомобилем. А в действительности часто получается так, что 30-сильный трактор тянет больше 100-сильного автомобиля, а маломощный автомобиль берет на большой скорости подъем, который не под силу более мощному автомобилю.

При определении работы пользуются лишь двумя величинами: протяженностью пути и силой. Человек, напиливший кубометр дров за два часа, сделает такую же работу, как и тот, кто напилит свой кубометр с перекурами за восемь часов.

При определении мощности вводится и время: мощностью называется работа, выполненная за избранную единицу времени — за час, минуту, секунду или за какую-нибудь другую. Иначе говоря:

Мощность — это быстрота совершения работы.

Со времени усовершенствования паровой машины шотландским механиком Джемсом Уаттом (1736–1819) и вплоть до наших дней, пожалуй, самая распространенная единица мощности — это лошадиная сила (*л. с.*). Выраженная в килограмм-силах на метр (*кГм*) в секунду, одна лошадиная сила равна 75 *кГм/сек.*

На знакомых примерах эта единица мощности означает вот что.

Хороший спортсмен-атлет на короткое время может развить мощность в 1 *л. с.* Но при длительной работе от нормального здорового мужчины не следует ожидать отдачи большей

мощности, чем $^1/_6$—$^1/_4$ *л. с.*, в среднем одной пятой лошадиной силы.

Мощность двигателя в домашнем холодильнике не превышает $^1/_4$ *л. с.*, автомобильный двигатель развивает мощность от 30 до 300 *л. с.* (у автомобиля «Волга» — 75 *л. с.*); мощность локомотива от 1000 до 4000 *л. с.*, Красноярской ГЭС — около 7 миллионов *л. с.*

Космический корабль «Восток», на котором ранним утром 12 апреля 1961 года Юрий Гагарин впервые вышел на орбиту земного спутника, был оторван от Земли с помощью ракетных двигателей мощностью 20 миллионов *л. с.*

В системе СИ единицей мощности утверждена также известная старая единица — ватт (*вт*): 1 *вт* = 1 *дж/сек.*

Часто пользуются единицей мощности, в тысячу раз большей, — киловаттом (*квт*).

Мощность патефонного моторчика в этих единицах составляет 10 *вт*, а мощность Красноярской ГЭС — 5 миллионов *квт.*

Рекомендуется запомнить (с этим часто приходится сталкиваться на практике), что 1 *л. с.* = 0,735 *квт*, а 1 *квт* = 1,36 *л. с.*

Мощность человека в этих единицах в среднем 0,15 *квт.*

Нам остается дать определение последней из величин, о которой идет речь, — *энергии.*

Мы знаем, что падающая вода способна совершать работу. Чтобы эта способность проявилась, на пути потока можно поставить мельничное колесо или водяную турбину.

Такой способностью обладает всякое вообще движущееся тело.

Можно привести примеры того, что и неподвижное тело обладает скрытой способностью производить работу: вода, сдерживаемая плотиной, согнутый лук, из которого можно выпустить стрелу, сжатая или растянутая пружина.

Итак, *энергией называется мера способности совершать работу*.

Часто энергией тела называют не меру его способности совершать работу, а самую такую способность. Это нецелесообразно. Ведь под энергией в физике понимают *некоторую физическую величину. А всякая физическая величина* — это не свойство, а числовая характеристика, мера свойства. Бывает иногда и так, что одним и тем же словом «энергия» пользуются для обозначения как способности совершать работу, так и меры этой способности. Мы тоже в дальнейшем этого не избежим, будем только стараться, чтобы каждый раз было ясно, в

каком именно смысле употребляется слово «энергия».

Примеры, которые мы приводили, относятся к одному виду энергии — *механической*, причем мера способности движущихся тел производить работу называется *кинетической энергией*, а мера аналогичной способности неподвижных тел — *потенциальной энергией*.

Глава физики, посвященная энергии, выросла из классической механики. Однако она была значительно обогащена наукой об электричестве, развившейся в основном лишь за последние полтораста лет, а также термодинамикой — наукой, созданной целиком учеными XIX века.

Единицы измерения энергии те же, что и у работы, — эрги, джоули. Часто применяют еще одну удобную единицу — киловатт-час (*квт-ч*). 1 киловатт-час — это работа, произведенная в течение одного часа при мощности в 1 киловатт.

Есть и еще одна — тепловая — единица энергии: калория (*кал*) или килокалория (*ккал*). Калория — это количество тепла, необходимое для повышения на 1 градус Цельсия 1 грамма воды, килокалория — количество тепла, нужное для повышения на 1 градус 1 литра, то есть 1 килограмма воды.

Все эти единицы связаны между собой, так что:

1 *квт-ч* = 3,6 млн. *дж* = 861 *ккал*.

Механика учит нас пользоваться силами. Но чтобы можно было пользоваться силой, необходима энергия. Знание законов энергии нужно для практического применения механики.

И еще одно. Очень важно уметь открывать или создавать искусственно склады энергии. Джоули не висят на ветках подобно грушам или гроздьям винограда — подойди и срывай.

Впрочем, даже фрукты, которые можно есть, сперва нужно вырастить. В определенном смысле нужно уметь «вырастить» из окружающей природы и джоули.

Это не всегда легко, потому что природа не любит ничего отдавать по доброй воле.

Превращение энергии

Не приходилось ли вам задумываться, какому виду энергии вы обязаны острым удовольствием помчаться вниз, после того как сиденьице ваших качелей достигло кульминационной высоты и замерло там на мгновение? Ясно, что ваша собственная энергия здесь ни при чем: вы можете расслабить все ваши мускулы и все равно начнете свой полет.

Конечно, вниз вас кинет из верхней точки качелей потенциальная энергия, сработает земное тяготение. Ну, а из нижней точки какая энергия вас подбросит вверх? Кинетическая энергия, это ясно. Потенциальная энергия, или энергия положения, внизу равна нулю, точно так же, как равна нулю на максимальной высоте, в момент изменения направления полета, кинетическая энергия, энергия движения.

Потенциальная и кинетическая энергии взаимно превращаются одна в другую.

Постепенно люди выяснили, что не только одна разновидность механической энергии может превращаться в другую разновидность механической, но и вообще все виды энергии: механическая, тепловая, химическая, электрическая, ядерная и т. д. — способны превращаться одна в другую. Мы живем среди этих превращений, постоянно пользуемся ими, хотя часто не замечаем этого удивительного процесса.

Прижал охотника мороз: он начинает пританцовывать, в ладоши хлопать, тереть нос и уши. Механическая энергия мускулов переходит в тепловую и согревает человека.

Он стреляет в зайца. Химическая энергия пороха превращается в механическую — летящей дроби. Вернулся охотник домой. Довольная хозяйка торопливо зажигает на кухне свет — превращает электрическую энергию в световую — и ставит на плитку разогреть холодный борщ, чтобы ту же электрическую энергию сделать тепловой.

Кончается все это тем, что ублаженный всеми видами энергии, имеющими хождение в быту, охотник заваливается спать, чтобы к утру восстановить за счет всего полученного свою энергию.

Замечательной особенностью превращения энергии является то, что оно совершается не произвольно, не как-нибудь, один раз с одним количественным результатом, другой — с другим, а подчиняясь вполне определенному закону.

Манчестерский пивовар Джемс Прескот Джоуль (1818–1889) был первым, кто установил, что при превращении одной энергии

в другую соотношение между механической работой и теплотой остается всегда постоянным, и потому, зная что-нибудь одно, можно совершенно точно сказать, какому количеству другого оно равно.

В результате открытия Джоуля была установлена количественная связь между единицами тепла (*ккал*) и единицами работы (*дж*), на которую мы сослались в предыдущей главе.

Кому потребуется быстро перевести джоули в килокалории или килокалории в джоули (вы, конечно, догадались о происхождении этого слова), может воспользоваться следующими постоянными соотношениями («эквивалентами»):

1 *кал* = 4,19 *дж* (механический эквивалент теплоты);

1 *дж* = 0,24 *кал* (тепловой эквивалент работы).

На практике мы совершаем превращения энергии обычно в тех или иных машинах. При помощи машин удается совсем, казалось бы, уснувшую энергию, например ту, что таится в разных топливах, заставлять совершать вполне реальную, полезную для людей работу: двигать поезда, поднимать тяжелые грузы, приводить в действие станки. Образно говоря, канистра с 15 килограммами бензина могла бы поднять полуторатонный грузовик с полным грузом и пробежать с ним 100 километров.

Воспользовавшись соотношениями Джоуля, нетрудно подсчитать, какое количество энергии вводится в машину, а какое соответствует проделанной работе. Сразу бросится в глаза, что на выходе энергии всегда бывает меньше, чем на входе.

Загадки в этом нет никакой, и над причинами явления голову особенно никто не ломал: часть энергии теряется в машине на трение, на теплоизлучение в пространство, на преодоление сопротивления воздуха или другой среды, и т. д.

Потерянная для пользы человека энергия — нечто вроде платы, взимаемой природой с человека за использование ее богатств.

Чтобы получить достаточную ясность об эффективности того или другого превращения, а значит, об экономичности процесса и машины, договорились ввести особую величину — *коэффициент полезного действия*, сокращенно к. п. д.

Коэффициент полезного действия — это та доля энергии, затраченной на работу машины, которая используется на нужные человеку цели.

Обычно к. п. д. выражают в процентах или в виде десятичной дроби. Понятно, что всего лучше та машина, к. п. д. которой будет ближе к 100 % или 1.

К сожалению, почти во всех действующих ныне установках

значение к. п. д. еще очень и очень далеко от идеала.

Даже если не вспоминать почти совсем исчезнувшие у нас паровозы (их к. п. д. редко превышал 5 %), то все равно положение не из блестящих. Бензиновые двигатели внутреннего сгорания, например, имеют к. п. д. от 10 до 25 %. У дизелей (в частности, на тепловозах) он может достигать 40 %.

Правда, многих эти числа не смущают. Они говорят:

— А вы взгляните на высшее творение природы — человека. Разве он в энергетическом смысле совершеннее? Его к. п. д. тоже не ахти какой.

Что верно, то верно: к. п. д. человека действительно не потрясает величиной. Если пищу рассматривать как своего рода топливо (энергия того, что мы едим и пьем, используется нашим организмом для поддержания температуры тела, для питания и возобновления тканей, наконец, для физической работы), то в среднем, как показывают опыты, в мышечную энергию превращается только 28 % энергии всей пищи. Такова полная величина к. п. д. человека.

Считая, что нормальный суточный рацион взрослого человека должен содержать 3000 *ккал* (а также 75 *г* белков, 0,69 *г* кальция, 1,32 *г* фосфора и 0,015 *г* железа), получаем что в его мышечную энергию перерабатывается только 840 *ккал*.

Если же человек и впрямь работает как источник механической энергии (а некоторое количество людей на Земле, особенно в экономически отсталых странах, и до сих пор работает наряду с лошадьми и буйволами, обрабатывая землю, крутя жернова мельниц или колеса мелиоративных сооружений и т. д.). то такой человек, как и животное, которое он заменяет, отдает еще меньше энергии: в среднем 17 %. Остальные 11 % он тратит на себя, на труд в «нерабочее» время.

Но уместно ли ставить на одну доску к. п. д. человеческого тела и к. п. д. машин? Человек ведь славен не одной физической отдачей, а в гораздо большей степени отдачей умственной. Его достоинство не в том, что он автоматически берет одно и превращает его в другое (как машина), а в том, что он находит все лучшие и лучшие сочетания вещей. Следующую главу мы посвятим тому, как известный русский естествоиспытатель Климент Аркадьевич Тимирязев однажды очень остроумно пояснил, что значит подлинно человеческий к. п. д., как много может сделать человек, способствуя действительно полному превращению энергии.

Сравнительно низкий к. п. д. всех ныне действующих машин объясняется, в частности, тем, что редко где один вид энергии сразу превращается именно в тот, который нужен людям. Так,

например, на всех тепловых электростанциях химическая энергия топлива сперва превращается в тепловую, потом в механическую энергию машин (дизели, газовые турбины и т. д.) и только после этого — в электрическую, которая нужна. На каждом промежуточном звене, естественно, свои потери, и эта дополнительная плата существенно снижает экономичность установки в целом.

Было бы весьма желательно найти такие процессы, в которых нет промежуточных звеньев. Хорошо бы, например, научиться превращать химическую энергию сразу в электрическую или в механическую без тепловой.

К слову говоря, природа может в этом показать пример. Работа наших мышц — прекрасный образец непосредственного превращения химической энергии в механическую.

В последнее время созданы первые опытные приборы с превращением энергии без промежуточных звеньев. У нас в стране недавно построен первый реактор-преобразователь «Ромашка», в котором энергия высокотемпературного реактора, работающего на быстрых нейтронах (один из видов элементарных частиц), преобразуется в электрическую с помощью кремний-германиевых полупроводниковых элементов. Этот реактор-преобразователь может послужить прообразом для энергетических транспортных установок. Теплота здесь превращается в электричество без промежуточной механики.

Успешно разрабатываются методы непосредственного преобразования энергии некоторых химических реакций в электричество. Для этого употребляются так называемые топливные элементы, работающие по принципу обыкновенных электрических батарей, но при условии, что основные исходные материалы в них все время возобновляются. К. п. д. подобных устройств, работающих при вполне умеренных температурах, может достигать 60–70 %.

Убедившись, что при превращении энергии никакие ее количества не пропадают совершенно бесследно — все идет в работу плюс потери, — ученые пришли к открытию одного из важнейших законов природы — *закона сохранения энергии*. Формулируется он в общем случае так:

> Энергия не исчезает и не возникает вновь. При превращении энергии одни ее виды переходят в другие в строго согласованных количествах.

Первооткрывателем этого великого закона считается немецкий врач Юлиус Роберт Майер (1814–1878), работавший на голландском корабле на Яве. Пуская кровь заболевшему матросу

во время стоянки корабля в городе Сурабая, Майер обратил внимание на необычайно алый цвет крови. Сперва он испугался — не вскрыл ли он вместо вены артерию. Потом его словно осенило. «Некоторые мысли, — писал он, — пронизавшие меня подобно молнии — это было на рейде в Сурабае, — тотчас с силой овладели мною и навели на новые предметы». Раз кровь ярка, значит, в ней много кислорода. В умеренных широтах венозная кровь куда темнее. Выходит, там это объясняется тем, что кислород расходуется на выработку дополнительной тепловой энергии…

Вернувшись в Европу, Майер стал напряженно работать над возникшей идеей. Так появилась в скором времени его формулировка закона сохранения энергии.

Заметим, между прочим, что почти одновременно с Майером, тот же самый закон был открыт, независимо друг от друга, известным уже нам Джоулем, датским технологом Кольдингом и гениальным французским военным инженером Сади Карно. Это неудивительно, потому что обычно всякая *идея века*, то есть та, что соответствует своей эпохе, приходит вовремя; она как бы носится в воздухе подобно цветочной пыльце, готовая оплодотворить любой мозг, способный стать хорошей почвой для этого. Но так уж бывает, что кто-то оказывается впереди…

Красный цвет

Благотворным превращениям энергии человек обязан своим существованием. Прогресс науки и техники убедительно показывает, что, взяв в собственные руки управление такими превращениями, люди быстро изменяют облик природы, делают ее покорнее и щедрее.

Людям помогает Солнце. Не только своим теплом, своей энергией, воплощенной в топливах и речных течениях. Солнце играет роль в формировании самого сознания человека: ведь свыше 90 процентов всей информации о внешнем мире приходит в мозг через глаза — чудесный чувствующий инструмент, развившийся под влиянием солнечного излучения.

Наш ум имеет не только трудовое, но и звездное происхождение, мы подлинные дети труда и света.

Космические корни человечества всегда волновали многих и порождали разные гипотезы. Интересна одна из них — гипотеза замечательного естествоиспытателя Климента Аркадьевича Тимирязева. Приведем ее как иллюстрацию, как пример.

Тимирязев верил, что цвета — и у истоков жизни, и в современном обществе — играют большую роль в развитии живущего. Цвет — это паспорт определенной световой волны, иначе говоря, волны энергии. Воздействуя на глазной нерв и через него на соответствующий участок мозга, «хороший» цвет дает и хороший стимул.

Еще до победы пролетарской революции, в июне 1917 года, Климент Аркадьевич Тимирязев написал статью под вызывающим для того времени названием «Красное знамя» (опубликована ока была годом позже в издательстве «Парус»). В ней мужественный ученый открыто объявлял себя сторонником рабочих, крестьян и трудовой интеллигенции и бросал вызов их врагам. В красном знамени Тимирязев видел символ борьбы революционных масс с темными силами реакции, видел вместе с тем символ победы труда и знания над такими силами.

Человек большого кругозора всегда стремится к обобщениям, многообразие бытия для него — поле поисков немногочисленных единых и простых законов. Естественно, искал подобных обобщений и Тимирязев. Ученый и борец, натуралист и материалист-мыслитель, К. А. Тимирязев старался выявить космическое значение красного цвета.

«Когда в навеки памятный день 1 Мая 1917 г., — писал он в своей статье, — я не мог оторвать глаз от картины общего праздника пробуждения весны и возрождения целого народа, в

моей голове невольно рождался ряд других привычных мыслей из области совершенно иного порядка явлений, мыслей о значении этого красного цвета в мироздании, в том мировом процессе, который связывает сияние солнца с присутствием жизни на Земле».

Что же можно сказать непосредственно о красном цвете? Как все больше выясняется, красный цвет играет стимулирующую роль и в прямом смысле: в мироздании, в эволюции важнейших его форм — форм жизни.

Что может быть величественнее зрелища ночного неба, не задернутого покровом облаков? Люди издавна всматривались в него, но даже не догадывались, что оно богато красками. Мерцая на фоне иссиня-черного неба, звезды представлялись людям одинаково — либо белыми, либо бледно-желтыми.

И вдруг буквально в самое последнее время выяснилось, что такая цветовая монотонность звезд — всего лишь следствие слабости их излучения, доходящего до нас. Человеческий же глаз слабо освещенные тела видит однотонными. В действительности звезды и туманности сияют всеми цветами радуги и среди этих цветов преобладает… красный.

Недавно Калифорнийский технологический институт и обсерватории Маунт-Вилсон и Маунт-Паломар (США) опубликовали первые цветные снимки звездных туманностей. Снимки были получены в результате длительной выдержки чувствительных фотопленок, улавливающих свет и цвета, недоступные человеческому глазу.

Поистине волшебное зрелище представляют собой красочные изображения отдельных участков звездного неба.

Сквозь тонкую пелену космической пыли светится неравномерно красным цветом туманность «Северная Америка», получившая свое название потому, что ее причудливые очертания напоминают карту североамериканского материка — от Ньюфаундленда до Панамского перешейка. Только пояс молодых раскаленных звезд, обрамляющих схожую по массам и размерам с нашей Галактикой туманность Андромеды, излучает синий свет; более древние и холодные звезды, находящиеся в центре туманности Андромеды, отсвечивают красным. Красны щупальца Крабовидной туманности — по-видимому, это газы, атомы которых подвергаются бомбардировке атомными частицами. Созвездие Лебедь напоминает паутину, усеянную драгоценными камнями преимущественно красного и отчасти белого и голубого цветов. Преобладает красный цвет и на других снимках.

Даже ближняя к нам звезда — наше Солнце — если разобрать ее по элементам оптического спектра, дает явное предпочтение

одному цвету: ширина красной полосы спектра больше ширины любого из других шести цветных участков.

Природа, по-видимому, отдает предпочтение красному цвету и в условиях нашей планеты.

Известно, что все растения, способные к фотосинтезу, иначе говоря, к созданию из стойких неорганических веществ при помощи света основных органических веществ — белков, углеводов и жиров, — содержат хлорофилл. Из всех растительных пигментов только хлорофилл поглощает красные лучи. Таким образом, фотосинтез может протекать вполне удовлетворительно при одном лишь красном свете; он оказывается важнейшей частью спектра. Животные получают свою долю преобразованной солнечной энергии, поедая растения или тела других животных. Значит, и жизнь животных в определенном смысле зависит от красного света.

Красная Вселенная! Или, выражаясь физическим языком, Вселенная, в видимом диапазоне которой преобладают электромагнитные волны с частотой около $5 \cdot 10^{14}$ *гц*.

Случайности эволюции сделали наш глаз именно таким, а не иным, воспринимающим лишь небольшую оптическую гамму, тянущуюся от красного цвета до фиолетового. Благотворной ли была подобная случайность для возникновения и развития человеческого рода? Способен ли разум развиться у существ, воспринимающих иную электромагнитную гамму, невидимую для нас?

Какое значение имеет красный цвет Вселенной (если предварительный вывод о «красноте» ее подтвердится и дальнейшими исследованиями) для жизни вообще?

Прав ли был Тимирязев, придававший своему любимому

цвету столь большое значение?

Пока вопросы остаются без ответа. Но они поставлены, а это очень важно. Это возбуждает мысль и манит ее искать там, где раньше не искали.

Вполне может подтвердиться гипотеза Тимирязева о том, что красный цвет (не желтый — самый яркий, не фиолетовый — самый энергичный, а именно красный) — самый животворный для всего живого. Тогда пророчески прозвучат слова великого естествоиспытателя из статьи, о которой мы упоминали:

> «Теперь мы можем смело сказать, что из всех волн лучистой энергии солнца, возмущающих безбрежный океан мирового эфира и проникающих на дно нашей атмосферы, обладают наибольшей… *работоспособностью* именно красные волны, они-то и производят ту химическую *работу* в растении, благодаря которой возникает возможность жизни на Земле».

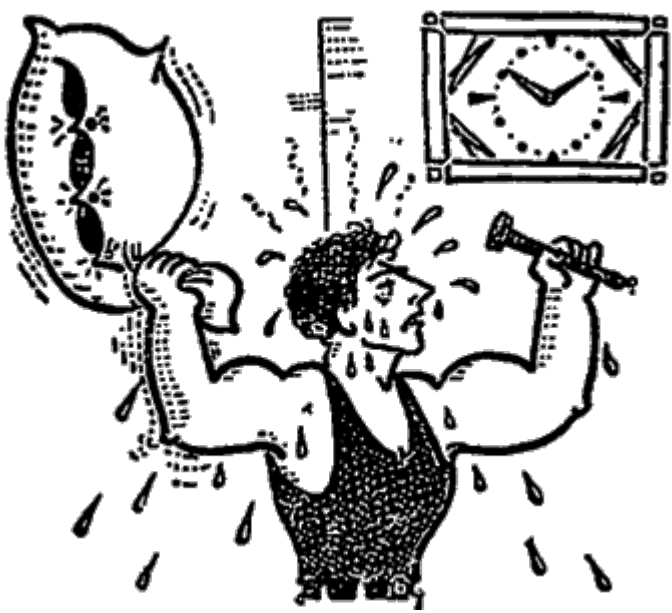
Три качества

Мы говорили о различных видах энергии, об ее способности превращаться из одного вида в другой. Закон сохранения требует, чтобы при этом общее количество энергии не изменялось. *Количество* — одна из важных характеристик энергии. Но у энергии есть еще и *качество*. Эта ее характеристика, пожалуй, даже поважнее.

Как же отличать энергию по качеству? Что служит здесь мерилом?

Прежде всего степень концентрации энергии в какой-то обусловленной единице объема.

Нетрудно гвоздь заколотить хорошим молотком. Но попытайтесь сделать то же самое подушкой весом в молоток и вы потерпите фиаско. У вас не получится ничего, хотя в обоих случаях вы применяли одинаковое количество кинетической энергии.



Попробуйте сварить на двух конфорках газовой плиты одновременно два яйца. Но одно яйцо вы положите в маленькую металлическую кружку, а другое — в обычную кастрюлю. Налейте, разумеется, заранее воды и в кружку и в кастрюлю. Что получится? Вода в маленькой посуде закипит быстро, и яйцо сварится минут через десять. В кастрюле же оно сварится гораздо позднее. В обоих случаях затрачено одно и тоже количество

энергии, а результат различен.

Объемная плотность энергии, ее концентрация — важнейшая качественная характеристика энергии или, точнее, того предмета, который можно рассматривать для данного процесса как ее источник.

Из всех известных людям и используемых на практике источников энергии наибольшей ее объемной плотностью обладает атом. В атоме — этом карлике-невидимке — скрыты титанические запасы энергии. Одна из истин, открытых наукой наших дней, заключается в том, что чем мельче объект исследования и чем, казалось бы, он дальше от живой практики, тем больше он сулит ей. Чем меньше лилипутик, тем больший великан скрывается под этой маской.

В конце концов лилипутик-атом приобрел такую ценность, что его стали продавать и покупать. Вполне естественно, что именно у нас — в стране, создавшей первую атомную электростанцию и первый атомный ледокол, в стране, надевшей на атом спецовку доброго труженика, — впервые атом появился на прилавке.

Существует один магазин, не похожий на все остальные. Товар в кем необычный — атомы. Известен адрес магазина: Москва, Ленинский проспект, 70.

Клиноподобные буквы вывески «Изотопы» видны издалека.

А у больших окон-витрин постоянно толпится публика: привлекают необычные приборы и сооружения, выставленные там, и прекрасная сверкающая модель атома, воспроизводящая его условный облик. Но мы не задержимся у витрин, а сразу пройдем в помещение — в просторный демонстрационный зал магазина.

Давно ли неисчерпаемые ресурсы атомного ядра стали доступны людям! А сегодня атомная энергия служит человеку в самых различных областях.

— Ядерные излучения, — скажет вам старший инженер (продавцы там — физики и инженеры), — то есть излучения, испускаемые радиоактивными изотопами и возникающие в ядерных реакторах, работают двояко. С одной стороны, как мощные средства воздействия на вещества и процессы, с другой — как тонкие инструменты исследования в бесчисленных областях науки и техники. Важнейшие мирные применения атомной энергии, радиоактивных изотопов — это медицина, сельское хозяйство, промышленность, научные исследования. Физика и химия, металлургия и автоматика, биология с ее многообразием областей применения, начиная с физиологии

высшей нервной деятельности и кончая агрономией, стали широкой областью применения радиоактивных изотопов.

— Вы продаете изотопы представителям всех этих областей?

— Да, мы поставляем по заявкам учреждений и организаций источники ядерных излучений всех видов: альфа, бета, гамма и нейтронных. Мы продаем соединения изотопов, не только излучающих, радиоактивных, но и не излучающих, стабильных. Но, кроме того, мы принимаем заказы на облучение образцов материалов и деталей нейтронами и продаем средства защитной техники для безопасной работы с радиоактивными веществами. Вот взгляните-ка сюда.

Мы подходим к отделению защитной техники. Посредине зала стоят внушительные вытяжные шкафы, предназначенные для защиты обслуживающего персонала лабораторий от альфа- и бета-облучения и не допускающие загрязнения воздуха рабочего помещения радиоактивными газами, аэрозолями и токсическими (ядовитыми) веществами.

В конце зала мы невольно задержимся перед защитным пневмокостюмом. Он удивительно напоминает те, в которых летчики-космонавты завоевывают космическое пространство.

— И у вас много зарубежных покупателей? — интересуемся мы.

— Да, очень много. Все народно-демократические страны и значительное число капиталистических.

— Что же особенно интересует ваших зарубежных покупателей?

— В сущности, то же самое, что и советских. Особенно часто зарубежные заказчики интересуются приборами и оборудованием, приспособленными для геологоразведывательных работ.

Мы остановимся перед небольшими ящичками, надписи к которым поясняют, что это поисковые радиометры типа «Кристалл» и «Разведчик-1»… Ценное приобретение для геологов!

В самом центре зала наше внимание привлечет большая светящаяся доска. Это расширенная таблица Менделеева: на ней изображены символы и характеристики радиоактивных и стабильных изотопов. В настоящее время, вместе с искусственно полученными, известно 104 элемента. Но каждый элемент имеет разновидности — изотопы. Сколько же изотопов и вообще источников радиоактивного излучения может продемонстрировать и предложить своим покупателям московская контора «Изотопы»?

На этот вопрос нам отвечают так:

— Стабильных, нерадиоактивных изотопов примерно 350–400

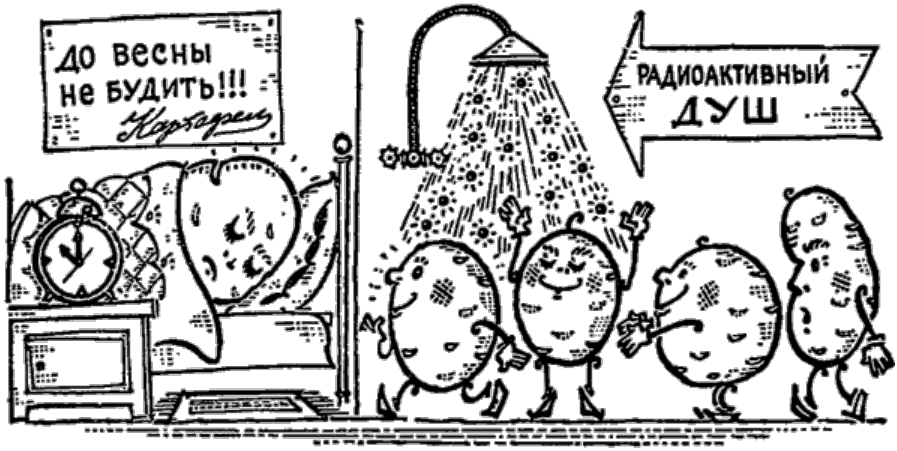
наименований, радиоактивных же вместе с источниками ядерных излучений — 400–500. Сегодня это, пожалуй, превышает практическую потребность в разновидностях «мирного атома». Производственники, врачи, работники сельского хозяйства, ученые не используют еще всех возможностей изотопов. Поэтому мы придаем большое значение всем способом наглядной демонстрации способностей радиоактивных материалов. У нас здесь есть кинозал, в котором мы демонстрируем научно-популярные кинофильмы, рассказывающие, как работают изотопы в разных областях.

— Кто же больше всего посещает магазин? — обращаемся мы к девушке, работающей здесь в качестве инженера-физика и экскурсовода.

— Пожалуй, врачи. Медицинские учреждения покупают у нас много изотопов. Покупают также дозиметры — приборы для проверки уровня радиации в помещениях. А многие приходят просто познакомиться с применением изотопов в медицине. С помощью радиоактивных изотопов диагностируют болезни, лечат злокачественные опухоли, заболевания щитовидной железы, экземы.

— Вероятно, много интересного здесь находят для себя и труженики полей?

— Конечно. С помощью радиоактивных препаратов сейчас производят очень сильные ядохимикаты для борьбы с вредителями сельского хозяйства. Или, скажем, хранение овощей. Сколько картофеля гибнет весной от прорастания! Но попробуйте облучить его при помощи простейшей установки, испускающей гамма-лучи, и он не будет прорастать год и даже больше. Такая установка доступна многим нашим колхозам и совхозам с емкими овощехранилищами. Это куда выгоднее опыливания картофеля дорогостоящими и дефицитными химическими препаратами. К тому же надо учесть, что радиоактивно обработанный картофель не прорастает даже при хранении в обычных, то есть специально не охлаждаемых хранилищах.



Удивительный магазин мирного атома на Ленинском проспекте в Москве кажется витриной будущего. Впрочем, если судить по интенсивной деятельности магазина, оно уже в какой-то мере становится настоящим.

Но вернемся к качественным особенностям энергии. Чем еще, кроме концентрации, один вид энергии может отличаться от другого?

Вторая качественная особенность энергии — это ее способность превращаться в другие виды. Все виды превращаются, но не все одинаково легко и быстро. Понятно, что из разных видов энергии ценнее признается та, которая с наименьшими потерями может быть превращена во что-нибудь нужное другое.

Третья качественная особенность — это способность энергии дешево и легко передаваться на большие расстояния.

Если в смысле концентрации атомная (ядерная) энергия стоит на первом месте, то по второму и третьему качественным признакам нет энергии лучше электрической.

Электрическая энергия легко и с незначительными потерями превращается в другие виды. По проводам она передается тоже с очень высоким к. п. д. на очень большие расстояния. Ни одна другая энергия таким счастливым даром не обладает. Поэтому, хотя киловатт-час солнечной энергии, уловленный зеркальной установкой, физически равноценен киловатт-часу электрической, выработанной на тепловой электростанции, единица электрической энергии ценнее той же единицы, если за ней стоят солнечная и любая другая энергии.

Откуда бы люди ни извлекали нужную им энергию — из каменного ли угля или из морских приливов, из ядер ли атомов

или из отходов сельского хозяйства, — они во всех случаях стараются прежде всего прикинуть: а много ли при этом можно получить электрической энергии?

Обычно такая прикидка делается с помощью относительной величины, показывающей, какая доля содержащейся в источнике и характерной для него энергии может быть превращена в электрические киловатт-часы. Эту величину можно назвать электрическим к. п. д. источника.

Максимальный электрический к. п. д. каменного угля — 38 %. Интересно, что самым высоким к. п. д. такого рода обладает падающая вода — 94–95 %. Это значит, что гидроэлектростанции — особенно выгодные экономически установки, что почти вся энергия текущей воды может быть превращена в электрическую.

Спектр энергии

К обилию энергии для техники, науки, бытовых нужд стремятся все народы. Ведь это одно из основных условий нормальной жизни. Можно хорошо работать, безбедно жить, пользоваться всеми благами культуры.

Ну, а как в действительности?

Есть такое понятие — «установленная мощность». Это выраженная в киловаттах мощность работающих генераторов электрического тока (динамо-машин). Понятно, что чем она выше, тем больше электричества могут выработать электростанции, тем богаче страна и ее возможности.

Какая же установленная мощность приходится на одного человека?

Если говорить о земном шаре в целом, до обилия здесь далеко. По подсчетам академика Н. Н. Семенова, на одного человека в среднем приходится сегодня 0,1 установленных *квт* электрической мощности. Это в полтора раза меньше мускульной мощности человека (в среднем 0,15 *квт*). Человек, занимающийся физическим трудом, за семь часов может выработать 0,15 х 7 — примерно 1 *квт-ч* (количество энергии, которой можно вскипятить 6,2 литра воды). А невидимый электрический помощник, созданный человеком себе в подмогу, за то же время вырабатает всего 0,7 *квт-ч*. Меньше, чем сам человек способен. Нерачительный пока что помощник!

Конечно, 0,1 *квт* — это среднее число. В СССР и в других экономически развитых странах оно гораздо больше. Зато есть страны с экономикой, расшатанной господством колониалистов, где соответствующие числа много ниже среднего.

Так, в странах Африки на душу населения приходится установленной электрической мощности в 26 раз меньше, чем на душу населения в промышленно передовых странах.

Во сколько же раз человечество должно повысить мощность своих электростанций, чтобы добиться энергетического изобилия, чтобы сказать: «Теперь хватит на всё задуманное; есть все технические возможности для построения богатой жизни»?

Но не праздный ли это вопрос? Ясно, что 0,2 *квт* на человека лучше, чем 0,1 *квт*, а 1 *квт* лучше двух десятых. Могут ответить в том смысле, что предела человеческому аппетиту на энергию установить нельзя и сколько бы электростанций на Земле ни настроили, всегда будут стараться построить еще.

В действительности есть предел для повышения общей мощности электростанций. Мы его назовем, чтобы показать, как

он далек от того, что сейчас имеется на планете, как много еще надо трудиться будущим поколениям, чтобы приблизиться к нему. Впрочем, может быть, люди и не будут стремиться его достигнуть?

Больше всего электроэнергии в недалеком будущем будут вырабатывать так называемые термоядерные электростанции, подробнее о которых мы скажем чуть позже. Но для того чтобы эти электростанции работали, необходимо осуществлять термоядерные реакции, а они всегда сопровождаются выделением в атмосферу или в почву больших количеств тепла.

Академик Н. Н. Семенов, специально интересовавшийся этим вопросом, пришел к выводу, что, когда выделяющееся от термоядерных котлов тепло составит 10 % от всей солнечной энергии, падающей на Землю, средняя температура на Земле повысится, по-видимому, на 7 градусов. Это, вероятно, вызовет бурное таяние снегов Арктики и Антарктики, может грозить всемирным потопом и другими неприятными последствиями. Поэтому, считает Н. Н. Семенов, вряд ли добыча термоядерной энергии будет превышать 5 % от солнечной энергии.

Но даже и в этом случае электроэнергии можно получить в 12 500 раз больше, чем теперь. Если так и сделают, то на одного человека при сегодняшней численности населения Земли придется не по 0,1 *квт,* а по 1250 *квт.* Даже если население резко увеличится, и тогда не будет оснований обижаться на энергетиков: при десятикратном увеличении численности людей на душу населения придется 125 *квт.* Куда уж богаче!

Но это далекий-далекий предел, к которому, повторяем, люди, возможно, не будут и стремиться. Как, однако, они собираются просто улучшать сегодняшнее положение, за счет чего думают извлекать столь нужные им киловатт-часы?

Термоядерные электростанции — это дело будущего, хотя бы и не столь далекого. Есть и другие способы добывать электроэнергию; да и в будущем рядом с термоядерными электростанциями, несомненно, будут действовать другие, основанные на иных источниках энергии.

Исторически не так еще давно всего три стихии — огонь, ветер и вода — были чуть ли не единственными известными человеку источниками энергии. Теперь их гораздо больше.

Среди важнейших современных источников — реки и многочисленные топлива, ископаемые и неископаемые: уголь, нефть, природный горючий газ, горючий сланец, торф, дрова. Делаются попытки запрячь в колесницу человеческого прогресса «новые» стихии: солнечное излучение, приливы океанов, внутреннее тепло Земли. Работает и ветер. Применяется пока что

и мускульная энергия человека и его домашнего скота — источник, некогда игравший основную роль в преобразовании природы. Можно назвать и другие источники…

Лет тридцать назад разным видам энергии любили давать названия «цветных углей»: энергия водопадов — «белый уголь», ветра — «голубой уголь» и т. д. Потом почти перестали — много условного. А зря! Условности, конечно, есть, но есть и определенные удобства. Цвета «углей» напоминают их происхождение. «Голубой» — вызывает в памяти образ неба, «красный» — цвет огнедышащего вулкана, «желтый» — солнца, «перламутровый» — переливы пролитой нефти или керосина и т. д. Похоже по существу и поэтично.

Давайте же восстановим образы! Где не было «угля» и цвета, придумаем название. Атомную энергию (расщепляющие материалы) назовем «оранжевым углем» — напоминает цвет урана. Водородно-ядерному горючему (дейтерий, тритий) название придумать трудно, потому что горючее физически не имеет цвета. Что ж, его можно назвать «бесцветным углем».

Не будем отождествлять с цветами спектра мускульную энергию. Как к элементу жизни, к ней неуместно применение терминов неживого. К тому же это отмирающий источник промышленной энергии, он скоро полностью исчезнет.

Еще ряд общих замечаний, и мы рассмотрим основные количественные и качественные характеристики «цветных углей».

При всем своем многообразии известные нам источники энергии могут быть разбиты на четыре группы: вызванные солнечным теплом и светом (все виды топлива, кроме ядерного, солнечная радиация, ветер, реки, тепло морей и океанов, мускульная энергия); вызванные вращением Земли и лунным притяжением (приливы и отливы); вызванные известными нам ядерными перестройками (атомная и термоядерная энергия); последняя группа — внутреннее тепло Земли.

С другой стороны, есть «угли» невосполняющиеся, ограниченные в своих запасах, и есть восполняющиеся ежегодно, то есть в известном смысле неограниченные (они ограничены лишь ежегодной нормой расхода: нельзя, например, сжечь больше дров, чем это позволяют природные ресурсы). Невосполняющиеся — это ископаемое топливо, включая сырье для атомных электростанций (расщепляющиеся материалы) — уран и торий. Восполняющиеся, условно неограниченные — все остальные.

Вообще говоря, к ограниченным источникам относится и сырье для будущих термоядерных электростанций. Однако энергии в них запасено так много, что мы их будем считать неограниченными источниками, поставим в один ряд с

источником солнечной энергии.

Люди привыкли иметь дело с ограниченными источниками энергии (хотя и считали их неограниченными). Но, не говоря уж о том, что сжигать их — пережиток (все равно что сжигать ассигнации, деньги, как выразился Д. И. Менделеев), их просто мало: хватит на несколько столетий.

Ученые, инженеры направляют теперь свои усилия на то, чтобы поскорее научиться извлекать энергию из тех неограниченных источников, из которых или еще не умеют ее извлекать, или делают это плохо. Пора кончать с расточительными привычками предков, пора установить с природой связь не одностороннюю — на истощение одного партнера, а двустороннюю, основанную на взаимности; природа обеспечивает людей источниками энергии, люди делают все от них зависящее, чтобы отданное природой возвращалось к ней обильным и доброкачественным.

— Человек тоже тело природы, — говорил один учитель. — Берегите природу, если себя сберечь хотите. Одно взяли, другое отдайте. Греетесь ее угольком — деревцо посадить не забудьте.

Какими запасами энергии располагает все человечество? Каждый год на это отвечают чуточку иначе: находят новые источники, уточняют и исправляют данные по старым… Перелистаем различные — не только наши, но и зарубежные — журналы, газеты, справочники и энциклопедии последних лет, включая год выпуска настоящей книги (1970). Выпишем то, что говорится в них о мировых запасах топлив. Отбросим сомнительные данные, прикинем на глазок, где современных данных нет, но известно, какую долю в общем энергетическом балансе, в общих мировых запасах составляло интересующее нас топливо несколько лет назад. В конце концов мы получим приблизительный ответ на вопрос, который задавали.

Разберем полученное.

Посмотрим сперва, как обстоит дело с невосполняющимися, ограниченными источниками энергии.

Невосполняющиеся (ограниченные) источники энергии

Место в общем тепловом балансе	Источник	Мировой запас энергии, *квт-ч*	Плотность энергии (теплотворная способность), *ккал* в 1 *кг* топлива	Максимальный электрический к. п. д. (в %)
1	«Оранжевый уголь» (расщепляющиеся материалы	10^{17}	18,9 млрд.	17
2	«Черный уголь» (каменный уголь) .	$81 \cdot 10^{15}$	7000	38
3	«Коричневый уголь» (горючий сланец) . .	$2 \cdot 10^{15}$	2600	22
4	«Болотный уголь» (торф)	$1{,}6 \cdot 10^{15}$	2300	29
5	«Перламутровый уголь» (нефть и природный горючий газ) . . .	$25 \cdot 10^{13}$	11 000	40

В таблице собраны последние результаты поисков источников энергии, прячущихся в земле. Разведанные запасы переведены по общей емкости энергии в *квт-ч*. В предпоследней графе указано, сколько энергии в среднем находится в килограмме топлива: эта величина, характеризующая объемную плотность энергии, называется еще теплотворной способностью и по традиции выражается в килокалориях. В последней графе — максимально достигаемая теперь (во всяком случае, в массовых масштабах) доля всей энергии, которую удается превратить в электричество.

Как видно, самым богатым источником энергии среди ископаемых топлив являются расщепляющиеся материалы. Считают, что одного из этих материалов — активного урана (урана-235) — 2 миллиона тонн, а другого — тория — 2,74 миллиона тонн. Всего получается 4,74 миллиона тонн.

В 1 килограмме урана содержится, как известно, $8 \cdot 10^{13}$ *дж*, или 18,9 миллиарда *ккал*, или 22 миллиона *квт-ч* энергии (в 2,7 миллиона раз больше, чем в 1 килограмме угля). Это дает общую энергоемкость запасов расщепляющихся материалов 10^{17} *квт-ч*.

К. п. д. атомных электростанций невелик, и мы его принимаем равным 17 %.

Запасов каменного угля на Земле примерно 10 тысяч миллиардов тонн. Считая среднюю теплотворную способность угля 7000 *ккал/кг*, что соответствует 8,1 *квт-ч*, делаем отсюда вывод, что всего в земле, в не извлеченных пока еще на-гора угольных массивах, затаено для человека 81 миллион миллиардов *квт-ч* энергии.

Если уголь содержит в себе еще сравнительно большие запасы киловатт-часов, не очень сильно отличающиеся от запасов

атомного горючего, то с остальными ископаемыми топливами дело хуже: сланец, торф, природный горючий газ и нефть таят в себе все, вместе взятые, гораздо меньше энергии, чем один только уголь.

С расчетами этих «цветных углей» дело обстоит сложнее: временами появляются в газетах радующие сознание известия, что то тут, то там открыли новый источник энергии. Богатые, например, запасы нефти открыты в Сибири и в Татарии. В Сибири нашли и газ, чего там никогда не видывали. И все же, чтобы не пропустить и эти «цвета» энергии, мы поступим так: воспользуемся соотношением между различными топливами, существовавшими до последнего времени (по опубликованным данным), и, ориентируясь на уголь, высчитаем количества энергии в сланцах, нефти и т. д. Думаю, что принципиальной ломки указанных там соотношений не произошло и вряд ли она произойдет в ближайшем будущем. Для приблизительных подсчетов это подойдет.

Соотношения таковы. Если все запасы ископаемого топлива (кроме ядерного) на Земле выразить в тепловых единицах и принять за 100 %, то:

95,4 % этого тепла будет заключено в каменном и буром угле,

2,4 % — в горючем сланце,

1,9 % — в торфе,

0,3 % — в нефти и в естественном горючем газе (обычно связанном с нефтяными месторождениями).

Выходит, что если 95,4 % соответствует $81 \cdot 10^{15}$ *квт-ч* энергии, содержащейся в мировых запасах каменного и бурого угля, то энергии во всем горючем сланце на Земле (2,4 %) — $2 \cdot 10^{15}$ *квт-ч,* в торфе — $1{,}6 \cdot 10^{15}$ *квт-ч*, а в нефти и природном газе только $25 \cdot 10^{13}$ *квт-ч.*

В таблицу «Восполняющиеся (неограниченные) источники энергии» сведены все основные данные по таким источникам энергии, которые практически вечны, то есть могут считаться неограниченными, если, разумеется, использовать их целесообразно, не переходя известных пределов.

Восполняющиеся (неограниченные) источники энергии

Место в общем годовом тепловом балансе	Источник	Мировой запас энергии, *квт-ч* в год	Плотность энергии, *ккал* в 1 *кг* массы источника	Максимальный электрический к.п.д. (в %)
1	«Бесцветный уголь» (дейтерий) [1]	$5 \cdot 10^{24}$	165 млрд.	Пока неизвестно
2	«Желтый уголь» (солнечная радиация) .	$15 \cdot 10^{16}$	—	11
3	«Зеленый уголь» (дрова)	10^{14}	2400	18
4	«Синий уголь» (приливы и отливы) . . .	$7 \cdot 10^{13}$	0,012	26
5	«Белый уголь» (реки)	$35 \cdot 10^{12}$	0,083	94
6	«Голубой уголь» (ветер)	$28 \cdot 10^{12}$	6,7	42
7	«Красный уголь» (внутреннее тепло Земли)	$16 \cdot 10^{12}$	670	13
8	«Фиолетовый уголь» (перепад температур воды морей)	$6 \cdot 10^{12}$	14	1,4
9	Мускульная энергия (человек и домашний скот)	$3 \cdot 10^{9}$	6,5	17

1 Энергия всего дейтерия на Земле.

Здесь лишь запас «бесцветного угля» — топлива для будущих термоядерных электростанций — может быть подсчитан до конца и выражен определенным числом. По остальным источникам энергии мы показали, какое количество киловатт-часов они способны безболезненно отдавать людям ежегодно.

Вот краткие пояснения ко всем девяти «цветным углям».

«Бесцветный уголь». Топливом для будущих термоядерных электростанций являются тяжелые разновидности (изотопы) легчайшего элемента — водорода. Эти разновидности — дейтерий и тритий. Тритий в природе практически не существует, он получается искусственным путем, дейтерия же в общей сложности очень много. На каждые 5–6 тысяч молекул воды морей, океанов, рек приходится одна молекула «тяжелой воды»; в ней вместо обыкновенного водорода — тяжелый водород: дейтерий.

В каждом литре, или килограмме, воды содержится около 0,02 грамма дейтерия. Кажется, немного, а теплотворная способность этой порции соответствует 3800 *квт-ч*, то есть теплотворной способности примерно 300 литров бензина. Это значит, что если бы все наши океаны, моря, озера и реки были бы наполнены не водой, а бензином, то в этом случае мы оказались бы беднее энергией раз в триста против того, чем фактически располагаем (точнее, будем располагать, когда научимся использовать дейтерий как топливо для электростанций).

Приняв во внимание общий вес воды во всех земных водоемах $14 \cdot 10^{20}$ килограммов, мы с помощью простых арифметических действий получим, что общие запасы термоядерной дейтериевой энергии на Земле близки к $5 \cdot 10^{24}$ *квт-ч* — в 50 миллионов раз больше запасов расщепляющихся материалов.

Если положить ежегодные затраты на выработку энергии для всевозможных нужд в $5 \cdot 10^{15}$ *квт-ч*, то есть в 100 раз больше современной ежегодной выработки, то получится, что дейтерия в качестве топлива для электростанций хватит на миллиард лет.

«Желтый уголь». Солнечные лучи — родоначальник большинства других восполняющихся источников энергии. Это солнечные лучи, как мы говорили, поддерживают постоянную многоводность рек. Это они, неравномерно нагревая атмосферу, приводят к различию ее плотностей и тем порождают ветер. Каменный и бурый уголь, торф, нефть, природный газ — все это аккумуляторы солнечной энергии: они образовались в далекие или недалекие времена в результате поглощения лучистой энергии листьями и стеблями растений.

«Запасы» солнечной энергии во много раз превосходят все остальные восполняющиеся источники. Струясь непрерывным благодатным потоком на Землю, солнечные лучи приносят на каждый квадратный метр земной поверхности в среднем 1 *квт* мощности. Если это перевести в энергию, учтя неравномерность солнечного освещения в зависимости от времени года и дня, а также от географической широты, то получается, что годовой приход солнечной энергии на Земле составляет $15 \cdot 10^{16}$ *квт-ч*. Это в десятки тысяч раз больше той энергии, которую вырабатывают сейчас все электростанции планеты.

За три минуты Солнце дает столько энергии, сколько расходуется ее на нашей планете за год.

К сожалению, к солнечной энергии, как к никакой другой, подходит выражение: «По усам течет, а в рот не попадает». Очень трудно сконцентрировать эту наиболее обесцененную из-за ее равномерной рассеянности энергию. Вогнутые зеркала и зачерненные поверхности для поглощения солнечной энергии, кассеты со светочувствительной жидкостью и другие ловушки солнечных лучей — все это не дает пока желаемого эффекта.

Только в самые последние годы в этом смысле появились перспективы: стали создавать полупроводниковые генераторы, способные превращать лучистую энергию в электричество. К. п. д. их сравнительно (против обыкновенных гелиоустановок) высок — до 11 %.

Недавно был обнаружен аккумулятор солнечных лучей

буквально у нас над головой — в верхних слоях атмосферы. Выяснилось, что на высоте 150–200 километров над землей кислород под действием солнечных лучей находится не в молекулярном, как обычно, а в атомарном состоянии — его молекулы расщеплены на атомы. Расщепленные атомы сравнительно нетрудно объединить снова. Зачем? При этом выделяется немалая энергия. Ее запасы таковы, что если взять на той высоте пятидесятикилометровый слой, то он способен дать энергию 10^{12} *ккал* — столько, сколько освобождается при сгорании нескольких миллионов тонн угля.

Впрочем, и здесь тот же недостаток, что у солнечной радиации, — малая объемная плотность.

«Зеленый уголь». Растения, их зеленые листья, стебли и лепестки — это разбросанные по всей планете маленькие фабрики по переработке молекул воды и углекислого газа при помощи энергии солнечных лучей в органические вещества с большим запасом энергии в молекулах.

Процесс этот имеет малый к. п. д. — всего 1 %, но в целом ежегодно улавливаемая от Солнца и запасаемая растениями энергия составляет около 2 миллионов миллиардов *квт-ч.* Это в сотни раз выше выработки энергии всеми электростанциями Земли. Если бы, не касаясь основных зеленых фондов, люди научились использовать (сжигая, как дрова, перерабатывая сперва на горючий газ, и т. д.) $^1/_{10}$ энергии растений, это давало бы ежегодно $2 \cdot 10^{14}$ *квт-ч.*

«Синий уголь». Приливы и отливы обладают довольно большой общей мощностью. К сожалению, заставить их работать на человека пока довольно трудно: они «пульсируют» и поэтому не могут дать равномерного притока энергии. Приходится создавать новые типы горизонтальных турбин, работающих в четырех режимах: турбинном и насосном, один раз при прямом, другой раз при обратном направлениях потока через машину. Есть и другие технические трудности, о которых здесь можно не распространяться.

Затрудняет использование энергии приливов и то, что береговая линия морей очень вытянута, а также, что не везде приливы достаточно высоки. При небольшой же высоте объемная плотность энергии воды невелика, добывание энергии становится невыгодным.

Пока в различных странах (Аргентина, Франция и др.) работают небольшие приливные электростанции (ПЭС), крупнейшая из них — недавно пущенная около порта Сен-Мало (Франция). Строительство очень крупной — на 340 тысяч *квт* — ПЭС заканчивается во Франции на северо-западном побережье, в

устье реки Ранс (высота приливов достигает там 8–9 метров).

На долю нашей страны приходится небольшая часть приливной мощности земного шара: 72 миллиарда *квт* из примерно 8000 миллиардов *квт*. В СССР строится в Кислой Губе, в районе Мурманска, первая ПЭС. На основе ее опыта будут сооружены уже проектируемые приливные электростанции в Лумбовском и Мезенском заливах Белого моря.

«Белый уголь». Энергия текущей, в частности падающей воды — один из стариннейших источников обузданной энергии. Древнегреческий поэт Антипатр настолько был восхищен водяным колесом, что воспел его в следующих стихах:

«Дайте отдых своим рукам, о работницы, и спите безмятежно! Напрасно будет петь петух, возвещая вам о наступлении утра. Део поручила работу девушек нимфам, и они легко теперь прыгают по колесам, так что сотрясаемые оси вертятся вместе со своими спицами и заставляют вращаться тяжелый жернов. Будем же жить жизнью отцов и без труда наслаждаться дарами, которыми нас наделила богиня».

Тысячи лет водяные колеса были основными преобразователями энергии падающей воды. И лишь с конца прошлого столетия их стали вытеснять, пока не вытеснили почти совершенно, водяные турбины — колеса с изогнутыми лопастями, вращающиеся под влиянием напора протекающей через них воды.

В настоящее время гидроэлектростанции (ГЭС) вырабатывают примерно 7 % всей мировой электроэнергии. Эта сравнительно небольшая цифра бесспорно будет расти, особенно у нас в Сибири и на Дальнем Востоке. Могучие реки наших восточных областей — Обь, Ангара, Лена, Енисей, Амур — и их многочисленные притоки несут в себе запасы «белого угля», в девять раз превышающие запасы всех остальных рек страны.

Мощность всех рек земного шара составляет примерно 4 миллиарда *квт*. Это значит, что ежегодно они способны вырабатывать $4 \times 10^9 \times 8760$ (число часов в году) приблизительно $35 \cdot 10^{12}$ *квт-ч* энергии. Фактически же используется лишь 1 %.

Потенциальная мощность рек Советского Союза — 400 миллионов *квт*, а используется пока около 20 миллионов *квт*.

Чтобы получить расчетную плотность энергии речной воды, взяты данные Днепровской ГЭС имени В. И. Ленина. Турбины, установленные там, развивают мощность каждая 75 тысяч *квт* при расчетном напоре 36,3 метра. Максимальный расход воды — 240 кубометров в секунду.

Итак, 240 кубометров, или тонн, падающей воды вырабатывают 75 тысяч *квт-сек,* или $75\,000 : 3600 = 20{,}8$ *квт-ч* электроэнергии. Но 1 *квт-ч* равен 861 *ккал*. Значит, в переводе на

килокалории 240 тысяч килограммов воды на Днепровской ГЭС вырабатывают 20,8 х 861 = 17 900 *ккал.* С учетом к. п. д. — 94 % — плотность этого источника энергии составляет: $^{17\,900}/_{240\,000 \text{ x } 0{,}94} = 0{,}083$ *ккал/кг.*

«Голубой уголь». Океан газов, омывающий нашу Землю, весит $5 \cdot 10^{15}$ тонн. Огромные газовые массы заряжены а соответствующей энергией: полная кинетическая энергия их движений равна примерно 10^{20} *дж* (то есть $28 \cdot 10^{12}$ *квт-ч*). А используется эта мощь людьми крайне недостаточно.

Ветер как источник энергии стал применяться много раньше, чем энергия каменного угля и нефти. Когда-то ветряные и водяные мельницы были чуть ли не единственными промышленными механизированными предприятиями Европы. Сейчас их, однако, много только в странах, бедных другими видами энергии, например в Голландии.

Главный недостаток ветряных двигателей — именно их «ветреность», непостоянство: количество вырабатываемой ими энергии зависит от случайностей и потому неравномерно. Инженер, работающий на ветросиловой установке, похож на рыбака на парусник в открытом море: он может попасть в штиль, сидеть сложа руки и ожидая ветра; может, наоборот, оказаться в страшном шторме.

Многие из-за непостоянства голубой стихии не верят в будущее воздушной энергетики. Есть, однако, идеальные условия для работы ветряков. Академик А. И. Берг однажды привел пример возможного использования «голубого угля»: подъем воды на поля из глубоководных подземных морей Казахстана. Эта республика стоит на воде, а по ее степям и пустыням «бродит» неприкаянный ветер. Почему бы ему не дать хорошую работу, почему не создать на плодородных, но сухих пространствах этой большой среднеазиатской республики лес ветросиловых установок, высасывающих подземную воду для полей? Тем более, что как раз здесь строгой периодичности, постоянства ветра вовсе и не нужно.

За образец для расчета плотности энергии воздушного потока принята установка, работающая с учетом скорости ветра в 13,3 *м/сек*. В этом случае 1 килограмм воздуха несет в себе 6,7 *ккал* энергии.

Смирить как-то ветер, направить его в русло порядка, сделать бесперебойным источником полезной для людей энергии — задача, которую еще предстоит решить.

«Красный уголь». На Земле свыше 400 действующих вулканов, множество гейзеров и других горячих источников. Энергия рвется из глубоких недр, ее там много. Но пока «красный уголь» не

нашел себе еще достаточного и достойного применения.

Сравнительно давно работающая геотермическая установка расположена в городе Лордерелло в Италии. Вырывающийся из земных недр пар с довольно высокой температурой и под значительным давлением очищается и пускается на лопасти паровых турбин. Тепловая плотность пара — 670 *ккал/кг*. В других местах подземное тепло идет просто на отопление домов. Так, столица Исландии — Рейкьявик — отапливается вообще исключительно таким теплом. Удачные опыты в том же направлении ведутся в некоторых городах Советского Союза: в Грозном, Махачкале, Тбилиси и др.

Первая опытная электрогеотермическая станция на 5 тысяч *квт* построена на Камчатке на горячих источниках Паужетской долины, в 300 километрах от Петропавловска. Там же, недалеко от местечка Паратунки, строится Больше-Банная геотермическая электростанция мощностью 25 тысяч *квт*.

У «красного угля» большое будущее и как у источника энергии, способной вырабатывать электричество. Принципиально этот источник энергии позволяет строить электростанции мощностью до 10–20 миллионов *квт*.

«Фиолетовый уголь». Использование термической энергии морей основано на температурной разнице в 10–20 градусов между верхними и нижними слоями воды в некоторых жарких странах. Электрическую энергию можно вырабатывать с помощью термоэлементов, помещаемых в холодный и теплый слои воды. Есть и другой способ: создавать вакуум в котле и пускать туда горячую воду; она будет превращаться в пар при температурах меньше обычной точки кипения; если такой пар пропускать через лопасти турбины, а затем охлаждать холодной водой, получится настоящая установка, способная вырабатывать электрический ток.

Именно такая установка построена в Абиджане — столице Берега Слоновой Кости (Западная Африка). Для турбин мощностью 7 тысяч *квт* там требуется около 30 тысяч кубометров в час глубиной воды с температурой 8 градусов (температура же поверхностной воды колеблется от 26 до 30 градусов). Плотность энергии получается очень низкой — 14 *ккал/кг*. Другие недостатки этого способа извлечения энергии — крайняя ее рассеянность, а также низкий к. п. д. — 1–1,4 %.

Мускульная энергия. Три с лишним миллиарда человек — сегодняшнее население Земли — владеют примерно равноценным по физической силе поголовьем тяглового скота. Общая приблизительная годовая энергетическая отдача грубой силы работающих существ составляет не больше 3 миллиардов *квт-ч*. Однако и это число практически стремится вниз: машины

повсеместно, хотя и не всюду одинаково быстро, принимают на себя физические работы.

Конечно, это хорошо: научный и технический прогресс, стимулируемый прогрессом социальным, несовместим с образом лошадки, тянущей примитивную соху, хотя этот образ сохранился лишь в немногих странах.

Беспорядок, который нас пугает, а должен бы, напротив, радовать

«Куда же девался Боря? Посмотрю сперва за домом, потом в гараже у соседа, потом в Сережином подъезде».

Конечно, мать не помнит, что находила своего Борю за домом 65 раз, в гараже — 44 и у Сережи — 32 раза, но это соотношение оставило свой след, и она уверенно начинает поиски по нисходящим вероятностям.

Инженер командируется в Таллин. Он слышал, что в столице Эстонии солнечных дней в году не больше тридцати, и берет в дорогу плащ. Он едет только на неделю, быть может, будет солнце, но статистика за дождь, и инженер склоняется перед статистикой.

Мы часто пользуемся статистикой (сознательно или бессознательно), чтобы угадать событие из нескольких возможных. С ее помощью мы хотим узнать стремление предмета предвидеть ситуацию. Детали предмета при этом нас, как правило, не интересуют, они в известном смысле здесь не играют роли, хотя, конечно, сами по себе ценны, и при другом — нестатистическом — подходе могут нас даже очень интересовать.

И что же, большей частью мы не ошибаемся. Равнодушная к причинам, неинтересующаяся — «почему», статистика с высокой точностью может сказать о любом предмете: «как». Лишь бы было много событий в прошлом, лишь бы было где искать статистическую закономерность.

Воспользуемся замечательными свойствами статистики, чтобы разобраться в одном чрезвычайно важном для нас вопросе — в «механических свойствах» времени, точнее, в том, как, в какую сторону с течением времени развиваются механические (и вообще физические) процессы в системах, состоящих из очень многих тел (ими могут быть и молекулы газов, жидкостей и твердых тел; наука, изучающая процессы в телах, рассматриваемых как собрания большого числа частиц, называется статистической физикой).

В одной из предыдущих главок («„Покорный вектор“ — величайшее изобретение человечества») мы упомянули о дачниках, обнаруживающих весной на даче какой-то беспорядок. Кто его делает? Мыши? Майские жуки, пролезшие сквозь щели? Нет, его делает Время.

Да, время, образно говоря, обладает чисто механическим свойством перемещать предметы. Конечно, на самом деле

предметы перемещаются воздействием на них других предметов. Но нам кажется, что повинно время, и при этом чувствуется тенденция: вопреки тому, как часто говорится, «время работает на нас», «время все улучшает» и т. п., — оно, в рассматриваемом сейчас смысле, всегда и очень определенно работает против нас. Оно «старается» разрушить созданное нами, «стремится» все перемешать, сровнять с землей, уравновесить. Где нет людей, там нет порядка, а тот, что был, неукоснительно идет на нет, все больше переходит в беспорядок.

Но как говорить о «работе», о «стремлении» чего-то неосязаемого? Ведь время, если можно так сказать, еще невидимее таких материальных сущностей, как поля. Электромагнитное поле отклоняет стрелку прибора, тяжесть растягивает пружину безмена. В обоих случаях через нечто промежуточное (прибор, датчик) мы делаем невидимое видимым, с помощью физического инструмента обнажаем движения, таящиеся в полях. А как обнажить тенденции, стремления, таящиеся во времени?

Одно только свойство времени мы научились делать зримым: равномерный ход вперед (по крайней мере, «равномерный» в условиях Земли, в условиях инерциальной системы; см. стр. 52). Но часы, помогающие нам в этом, не годятся для показа более активных свойств. Вообще тут нужны не только физические средства, но и математические — те, которыми располагает статистика и ее основа — теория вероятностей, так называемый закон больших чисел.

Не будем пересказывать основные положения статистики, известные по учебникам математики и физики. Приведем пример, убедительный и без цифр, пример, показывающий, что́ выбирает Время, предоставленное само себе, — порядок или беспорядок.

Поставим следующий воображаемый опыт (опыты подобного рода часто «ставят» физики, и такой прием рассуждений не вызывает никаких сомнений). Посадим за миллион пишущих машинок миллион мартышек, предварительно показав им, что делают с машинками люди, и научив мартышек вставлять и выдергивать бумагу. Обезьяны, обезьянничая, захлопают по клавишам, из машинок полетят потоки абракадабры. Как раз вот этим самым — чепухой, примерно одинаковым числом повторов каждой буквы на каждом из листков, — листки будут поразительно похожи один на другой. Мы с полным основанием сможем сказать: «Не мартышки печатают листки, печатает их Время, и все одно и то же — чепуху. Вот оно каково — оно стремится к беспорядку».

В конце концов оно смогло бы сотворить и что-нибудь

порядочное, осмысленную фразу вроде: «Я помню чудное мгновенье…» Но для того чтобы листок с подобной фразой стал реальностью, нам нужно было бы, как говорит статистика, не выходить из мартышечьего машинописного бюро в течение многих миллионов лет.

Итак, время не просто идет вперед, идет от прошлого в будущее, оно ведет с собой беспорядок. Факт этот имеет для всей нашей жизни исключительно большое значение, потому что мы вынуждены вечно воевать со временем. А это нелегко: время очень могуче. Куда как проще быть с ним заодно (и сеять беспорядок), чем с ним бороться (создавать порядок).

Легко перетасовать колоду карт; разложить их в правильной последовательности сложнее. Ничего не стоит перемешать соль и сахар; а кто сумеет восстановить порядок — разложить полученную смесь на составляющие!

Физики придумали для меры беспорядка, к которому стремится изолированная, предоставленная самой себе физическая система, особое название: *энтропия* (исторически сперва ввели термин «энтропия», позднее стали говорить о беспорядке). На первых порах, как это обычно бывает с новыми понятиями физики, энтропия казалась чем-то невероятно сложным. Знаменитый французский математик конца прошлого и начала этого столетия Анри Пуанкаре назвал понятие энтропии «чудовищно абстрактным». А теперь (точнее, после того как доказали, что энтропия характеризует беспорядок) слово

«энтропия» не вызывает, как правило, никаких нравственных страданий. Так же, как и тот физический закон, в выражении которого оно применяется, так называемый *закон возрастания энтропии*:

> Энтропия изолированной физической системы может только возрастать, но не может уменьшаться.

Иногда этот закон называют еще «вторым законом термодинамики», так как он обычно применяется в учении о теплоте, а последнее широко пользуется главой теоретической физики, называемой термодинамикой.

А где «первый закон термодинамики»? Есть и такой. Он говорит о том, что изменение энергии большой физической системы складывается из тепловой и нетепловой частей, причем общая сумма этих частей при таком изменении не меняется. Первый закон термодинамики часто (но не совсем точно) называют законом сохранения энергии применительно к тепловым процессам.

В учебниках для иллюстрации действия закона возрастания энтропии часто приводят пример с двумя сообщающимися сосудами: первый наполнен газом с давлением в 1 атмосферу, во втором нет ни молекулы. Открыли оконце в перегородке между сосудами, и газ из наполненного резервуара тотчас заструился в вакуум. Через очень короткое время убеждаются, что в каждом из сосудов — поровну молекул газа. Потом можно ждать хоть вечность, но это положение практически не изменится.

Но что, если вечности не ждать, а повернуть время вспять? Физически сделать это, разумеется, невозможно, но можно чуточку схитрить. Если бы мы сумели снять на кинопленку расширение газа, то потом нам уж ничего не стоило бы пустить пленку наоборот. И мы увидим странную картину: из одного равнонаполненного газом сосуда молекулы вдруг стали быстро вылетать в другой сосуд, и вот через несколько мгновений в одном сосуде образовалось давление в 1 атмосферу, а в другом — идеальный вакуум.

Этот воображаемый опыт нам понадобился для иллюстрации очень важного положения: и в случае превращения беспорядка в порядок не нарушается ни один закон микроскопической физики. Все эти законы допускают обратимость процессов в природе, «обратимость времени».

Но в общем-то избежать влияния закона возрастания энтропии невозможно. А он ограничивает применение других законов физики: он требует, чтобы в результате всякого процесса в конечном счете порядок хоть чуточку уменьшился бы, а

беспорядок хоть чуточку возрос. Принцип возрастания энтропии по самому своему смыслу является принципом необратимости *макроскопических* процессов.

Как все сказанное связать с энергией, с взаимным превращением одних ее форм в другие?

Мы делили энергию на сконцентрированную и рассеянную, на восполняемую и невосполняемую, на четыре группы по происхождению: от Солнца, от притяжения Луны, от ядерных перестроек, от внутреннего тепла Земли. Мы можем делить ее еще на «благородную» и «неблагородную», или высшие и низшая формы. Первая, высшие формы энергии, — механическая, электромагнитная; вторая, низшая форма энергии — тепловая. В чем главное различие между ними, в чем «неблагородство» тепловой энергии?

Благородные формы энергии способны целиком превращаться в другие, полезные формы энергии, в работу. Тепловая, в лучшем случае, может быть превращена в полезную энергию лишь частично.

Почему?

Высшие виды энергии — все упорядоченные. Механическая энергия связана с упорядоченной частью движения молекул — по траекториям, одна рядом с другой. Падает ли вода, вращается ли колесо турбины, движется ли взад-вперед поршень двигателя — все это движения порядка, все это выделяется из стихий, находится в резком с ними неравновесии. Электромагнитная энергия вызывает образ строгого потока волн, движения по проводам потока электронов. У этих форм есть куда изменяться: от своего порядка к беспорядку; они способны соблюсти требование роста энтропии.

Иное — тепловая энергия. Она — сама беспорядок. Это энергия хаотического движения молекул вещества. Энергия теплового движения частиц не может перейти сама собой в механическую энергию, способную совершить работу, потому что это значило бы самопроизвольное превращение беспорядка в порядок, что запрещено законом физики.

Как бы ни были велики запасы тепловой энергии, они не могут быть превращены в работу, стать полезными, если речь пойдет о том, чтобы только «поднять их вверх». В Земле хранится очень много такой энергии. Охладив планету, масса которой равна $6 \cdot 10^{24}$ (6 миллионов миллиардов миллиардов) килограммов, всего на 1 градус, мы получили бы $1{,}2 \cdot 10^{24}$ килокалорий тепла — в миллиард раз больше, чем вырабатывают сейчас каждый год все вместе электростанции мира. Но это невозможно; такого рода тепло бесполезно для электростанции:

извлечь его не позволяет закон роста энтропии.

Мы не смогли бы превратить в работу тепловую энергию Земли, даже если бы *вся планета* вдруг резко разогрелась бы, а мы в жаростойких костюмах поспешили воспользоваться этим для выработки электроэнергии.

Многие убеждены, что, для того чтобы заработала паровая машина, достаточно дать пар. Но это совершенно неверно. Беспорядок не может сам по себе превратиться в порядок.

Чтобы работали тепловые двигатели, обязательно находят где-то холодильник, может быть обыкновенную воду при обычной температуре. Почему? Нетрудно догадаться. Хотя «с двух сторон» машины и будут находиться два источника тепла низшей формы энергии: горячий пар и холодная вода для охлаждения, — но само по себе соединение этих двух источников создаст какое-то упорядоченное движение. Им будет переток более «горячих» (то есть обладающих более высокой средней кинетической энергией) молекул в сторону менее «горячих» молекул (то есть молекул с менее высокой средней кинетической энергией). А это уже порядок, это уже возможность стремиться к беспорядку и, значит, совершать работу.

Здесь та же логика, как в утверждении, что большая потенциальная механическая энергия озера на горе бесполезна для электростанций, пока озеру не найдут хорошего слива. Горячий пар — одна потенция, вода — другая. Лишь в соединении они способны создать энергетический поток, который может производить работу.

Теперь, пожалуй, вы можете спросить: почему так странно названа эта глава? Чем пугает нас беспорядок и чем он должен вдруг радовать?

С тех пор как был открыт закон возрастания энтропии, многие ученые стали развивать «теорию тепловой смерти»: раз все идет от высших форм энергии к низшей, тепловой, — остывает, односторонне превращается в беспорядок, — то, дескать, мир рано или поздно весь остынет. Ведь беспорядок порядком уже не сделать.

То, что предсказывали пессимисты, было бы истинным холодом смерти. Даже если бы все вещество Вселенной можно было уничтожить, превратив его массу в энергию (а 1 грамм массы вещества смог бы быть преобразован в $9 \cdot 10^{20}$ эргов энергии), то и тогда мировое пространство нагрелось бы от минус 270–273 градусов всего до минус 260 градусов, то есть лишь примерно на 10 градусов.

Бояться этого, однако, не приходится, даже если думать о поколениях людей, которые будут жить через многие миллионы

лет. Прежде всего закон возрастания энтропии сформулирован и многократно проведен для ограниченных физических систем. Что такое «энтропия всей Вселенной» — это вряд ли кому-нибудь сегодня ясно.

Человек уже показал, что разум в состоянии находить всё новые источники энергии, способные поддерживать бесконечный перепад температур, и это в принципе может продолжаться вечно.

А радоваться чему? Тому, что основные законы физики со временем не изменяются. Само существование порядка и беспорядка в раз навсегда положенной последовательности, немыслимость их поворота — тоже благотворный порядок.

Как в новых формах возродилось древнее учение о четырех стихиях

Облака — начало и примитив всего

Огненное облако с огромной скоростью скатилось с вулкана Мон-Пеле и превратило в пепел цветущий город Сен-Пьер с населением 26 тысяч человек. Катастрофа была столь же ужасна, сколь неожиданна и непонятна. Долго не могли объяснить, каким образом мельчайшие раскаленные частицы вулканического вещества не поднялись в воздух, не рассеялись, а упали на город и предали его страшной участи.

Это произошло в 1902 году на острове Мартиника в архипелаге Малых Антильских островов.

Иначе на противоположной стороне планеты двигалось другое облако — песчаное облако пустыни Кара-Кумы. Оно двигалось не спеша — десятилетиями, веками. Оно незаметно по земле подползало к становищам людей, к продуктам их труда. Оно не убивало сразу, но то, что укутывалось им, переставало существовать. Пески пустыни омертвляли все встречавшееся на пути: колодцы и сады, пастбища и бахчи, города и кишлаки, обнесенные глинобитными стенами.

Есть облака, не похожие ни на первое, ни на второе. Мириады всевозможных бактерий и грибков, взвешенных в воздухе — воздушная микрофлора, — тоже перемещаются как облака. Распространяясь, такие облака порой служат источниками заболеваний.

Но не только бедствия приносят облака. Бывает, например, хорошая воздушная микрофлора.

Вот подул ветерок, и в воздух поднялись облака золотистой пыльцы. В виде «серного дождя» (так это называется) они потом где-то опустятся на землю, покроют собой огромные пространства. Некоторая их часть попадет на тычинки цветков своего вида, оплодотворит растения. Частицы облака выступают здесь как могучий стимул жизни.

Для большинства пустыня Гоби — мертвая пустыня. А известно ли вам, читатель, что она несет плодородие и жизнь Южному Китаю? Под влиянием резких переходов от тепла к холоду и обратно камни пустыни Гоби в течение веков измельчаются и превращаются в тончайшую желтоватую пыль, лёсс, которая затем подхватывается ветром и уносится на юг. Действуя столетиями, ветротранспортер создал грандиозные лёссовые отложения на юге, в частности в бассейне реки Хуанхэ. С лёссом появились замечательные условия для жизни, так как он плодороден.

Много облаков парит над миром, много опускается на него,

забирается в любую щелку. То, что мы называем обычно облаками, — ничтожная часть огромного, многоликого семейства облаков. У него, впрочем, есть и другое название: *аэрозоли*.

За последние десятилетия люди научились сами вырабатывать полезные аэрозоли. Все возрастающую роль играют теперь в жизни и в различных формах деятельности людей искусственно создаваемые облака тончайшей пыли.

Жидкое топливо перед сжиганием обычно механически распыляют, превращают в туман. В распыленном виде сжигают также твердое пылевидное топливо и некоторые виды минерального сырья (колчеданы).

В борьбе с вредителями и возбудителями грибковых болезней растений, а также с малярийными комарами применяются почти исключительно распыленные ядовитые вещества — инсектициды.

В военной технике в большом ходу маскирующие дымы и туманы.

Врачи охотно прописывают больным ингаляцию — лечение путем глубокого вдыхания специальных лекарственных препаратов. Преимущество этого метода лечения — плотное осаждение лекарства в легких.

Специальные облака применяются в экспериментальной физике. Исследуя движение капелек в вертикальном электрическом поле, впервые точно определили заряд электрона и число Авогадро (см. стр. 140), а также решили ряд других физических задач (например, выяснили квантовую природу

фотоэффекта, см. стр. 161). Явление образования тумана при конденсации пересыщенного пара на газовых ионах послужило основанием для создания распространенного физического прибора — камеры Вильсона.

Что же такое аэрозоли? Чем характерен этот мир и почему мы с описания его начали раздел, посвященный веществу?

Песчинку величиной в десятые доли миллиметра человек еще заметит невооруженным глазом. Молекулу в 5 миллионов раз меньшую он увидит только с помощью электронного микроскопа. А в этом колоссальном интервале укладываются размеры всех частиц аэрозолей.

Различают три вида аэрозолей.

Туманы — аэрозоли с жидкими частицами: природный туман, дождевое облако, туман, образующийся при распылении падающей воды. Частицы таких аэрозолей, как правило, шарообразны.

Пыли — аэрозоли с твердыми частицами, образующиеся при измельчении твердых тел и при переходе порошкообразных тел во взвешенное состояние под действием воздушных потоков, сотрясений и т. д. К ним относятся угольная пыль, лёсс, цементный порошок и т. д. Под микроскопом пылинки выглядят как грубые обломки неправильной формы.

Дымы — аэрозоли также с твердыми частицами, но образованные не измельчением твердых тел, а конденсацией пересыщенных паров и в результате газовых реакций ведущих к образованию нелетучих продуктов вроде сажи. И формы и размеры дымовых частиц многообразны. В отличие от пылинок, частицы дыма сплошь да рядом представляют собой рыхлые агрегаты, состоящие из значительного числа более простых частиц правильной кристаллической или шарообразной формы.

В строении частиц аэрозолей много общего со структурой крупных тел. Пылинки, например, имеют ту же природу, что вещества, знакомые нам в обычной практике. В ряде случаев мельчайшие частицы сохраняют даже свойственную данному веществу пластинчатую форму (слюдяная, шиферная и графитовая пыль) или форму волокнистую (асбестовая и текстильная пыль).

Поэтому частицы аэрозолей вполне можно назвать просто очень мелкими осколками обыкновенных крупных тел.

Изучение аэрозолей — хорошая подготовка к изучению больших масс твердых, жидких и газообразных веществ. С аэрозолей, несомненно, начался наш большой мир (макромир). Как бы ни произошли планеты (вопрос этот до сих пор еще не ясен), бесспорным остается то, что их массы «склеились» из

аэрозолей. Поэтому, изучая эти крупицы вещества, мы приближаемся к решению загадки происхождения Солнечной системы. С другой стороны, в поведении очень маленьких частиц материи (но все же частиц макромира, а не микромира, как молекулы и атомы) раскрывается многое, с чем мы встречаемся в мире обыкновенных тел нашей практики. Это позволяет, как сказал английский поэт Уильям Блейк, живший на рубеже XVIII и XIX веков:

В одном мгновенье видеть вечность.
Огромный мир — в зерне песка,
В единой горсти — бесконечность
И небо — в чашечке цветка.

Как движутся аэрозоли?

Одной из наиболее важных особенностей большинства облаков, встречающихся в природе, промышленности и обыденной жизни, является то, что они в первый период своего существования движутся как одно целое. Воздух омывает их, словно морская струя киль корабля. Это удивительное явление. Не всякий человек объяснит сразу, почему облака не продуваются насквозь, хотя главное, что заполняет их объем, — это воздух или газ. Частицы занимают обычно лишь самую ничтожную долю объема. Например, в одном кубометре обыкновенных водяных облаков в среднем содержится только 1 грамм воды. Иначе говоря, суммарный объем частиц составляет всего одну миллионную долю полного объема облака.

Почему же воздух не проходит сквозь огромные «пустоты» между частицами?

Объясняется это так называемыми гидродинамическими взаимодействиями между частицами. Двигаясь в одном направлении, частицы увлекают за собой окружающую среду и создают в ней течение, которое, с одной стороны, порождает сопротивление проникновению в облако внешнего воздуха, с другой — уменьшает сопротивление движению частиц.

В результате в объеме облака сохраняется та же газовая среда, что была в нем в момент образования. А плотные частицы облака в своей массе движутся быстрее, чем двигались бы отдельные из них.

Трагедия на острове Мартиника в конце концов объяснилась довольно просто. Сперва подземное газовое давление и высокая температура вытолкнули из кратера облако раскаленного пепла. Оказавшись на поверхности земли, облако, обладая плотностью более высокой, чем плотность воздуха, быстро скатилось вниз на

город. Не будь удивительного свойства — целостности облаков, наружный воздух быстро выдул бы газ между частицами, около каждой раскаленной пепелинки образовалась бы нагретая и, следовательно, менее плотная воздушная оболочка. И пылинки, как на воздушных шариках, поднялись бы и рассеялись, постепенно остывая.

Интересна одна особенность тяжелых, оседающих облаков: верхняя их поверхность обычно бывает плоская. Это наблюдали как в лабораториях, так и на природных туманах.

И тут объяснение простое: при плотности аэрозоля, превышающей плотность граничащей с ним среды, гидростатические силы противодействуют нарушению горизонтальности верхней границы. Аэрозоли в этом случае ведут себя как жидкости.

Понятно, что стабилизация верхней границы будет наблюдаться только тогда, когда плотные частицы движутся как одно целое со средой, то есть при большой концентрации аэрозоля. Особенно устойчивыми оказываются поверхности аэрозолей, утяжеленные хлором, углекислотой и некоторыми другими газами.

И вот рисуется удивительная картина: «жидкость» (плотные частицы) не вытекает из «решета» (газовый объем аэрозолей). Природа переносит «жидкость» в «решете», а та не выливается!

Мы привели примеры деятельности, «жизни» облаков. Но все, что существует, возникает и гибнет. Как же возникают и как исчезают облака?

Нам уже известно, что большинство существующих облаков не пропускает через себя воздух, обдувается им снаружи. Но есть и продуваемые облака. Обычно это явление сопутствует процессу возникновения или процессу разрушения аэрозолей.

Вот порыв ветра скользнул по поверхности пустыни. Тотчас же зашевелились, пришли в движение песчинки. Те, что покрупнее, покатились по поверхности; помельче — запрыгали и потянулись за порывом ветра; мельчайшие приподнялись и больше не легли обратно: воздушные потоки подхватили и понесли их над землей. Прыжки и перекатывания больших песчинок вызывают действие, напоминающее цепную реакцию. То рикошетируя от слоя других песчинок и повторяя свой прыжок, то зарываясь в слой и передавая импульс другим частицам, которые, в свой черед, начинают подскакивать или перекатываться, песчинки дробятся и дробят встречающиеся им, постепенно увеличивая количество аэрозольной пыли.

Такая же приблизительно картина наблюдается и при выветривании почвы, и при пневмотранспорте сыпучих

материалов, и в процессах, известных под названием «кипящего слоя». Здесь всюду налицо воздух (или другой газ), продувающий беспорядочно мечущиеся частицы; захват и перевод в аэрозольное состояние мельчайших из них; дробление относительно больших и хрупких частиц.

Обратное явление наблюдается в «зрелых», существующих аэрозолях. Важнейшим свойством является их недолговечность. Приходит срок, они «дряхлеют» и разрушаются. Одни частицы налипают на поверхности встречных тел (тем скорее, чем мельче частицы), другие слипаются между собой, или, как говорят иначе, коагулируют. Образуя хлопья сравнительно больших размеров (от нескольких десятых до целого миллиметра), они утрачивают взаимосвязь и выпадают на землю.

Причины коагуляции частиц аэрозолей до сих пор не выяснены до конца. Но, без сомнения, здесь влияет масса факторов: и взаимное — так называемое гидродинамическое — притяжение летящих частиц, и действие атмосферного электрического поля, и отталкивание частиц от нагретых поверхностей, и проявление так называемого броунового движения, и (для жидкостных аэрозолей) конденсация паров на ранее образованных капельках.

Прекрасной иллюстрацией того, как исчезает аэрозоль, является выпадение обыкновенного дождя. Может показаться странным, но причины столь привычного явления, как выпадение дождя, стали выясняться только в самые последние годы.

Дело в том, что образующиеся в результате конденсации пара облачные капельки обладают весьма ничтожными размерами — порядка 10 микрон (то есть сотых долей миллиметра). Такая маленькая частица не в состоянии упасть на землю, так как поток теплого воздуха без труда поднимает ее кверху. Но даже если что-нибудь и толкало ее вниз, она тысячу раз испарилась бы, прежде чем достигла земной поверхности. Чтобы водяная капля, выпав из облака, могла достичь земли, она должна была бы иметь радиус по меньшей мере около 100 микрон, то есть 0,1 миллиметра.

Но дождь все-таки идет. И капли воды, выпадая из дождевых облаков, имеют вполне значительные размеры — до 2–3 миллиметров. Почему?

Это происходит потому, что на мельчайших капельках воды в облаках конденсируется пар. Идет процесс коагуляции, усиливаемый движениями капелек и сталкиваниями их между собой, а также действием электрических зарядов капель. В результате возникают два потока. Облако, как и прежде, под влиянием более высокой по сравнению с окружающей атмосферой температуры со скоростью до 10 *м/сек* поднимается

вверх. Дождевые же капли со скоростью от 0,01 до 8–9 *м/сек* устремляются вниз.

Как-то в США появилась компания «по поставке дождя». Было объявлено, что отныне каждая ферма может заказать себе дождь в должном количестве и требуемой продолжительности.

Это было шарлатанство. Героями истории оказались охотники не за облаками, а за содержимым чужих карманов, умело сыгравшие на надеждах и ожиданиях людей.

Однако настоящая охота за облаками началась и уже дала вполне положительные результаты. Особенно больших успехов в этом направлении добились советские ученые. Так, еще с 1951 года аэрологи из Центральной аэрологической обсерватории начали применять практику «открывания» аэродромов, затянутых облаками. На самолете они подлетали к «закрытым» аэродромам Казани, Саратова, Арзамаса, Перми и других городов и, выпуская в облака несколько килограммов углекислоты, рассеивали их и открывали аэродромы для регулярных взлетов и посадок самолетов.

Теперь в Советском Союзе успешную борьбу с облаками ведут и в интересах сельского хозяйства. На Кавказе и в Молдавии проделывали интересные опыты: палили по градоносным облакам специальными ракетами из многоствольных установок, чем-то напоминающих знаменитые «катюши». Ракеты вводили в облака большое количество мелких кристалликов, не дававших дождевым каплям охладиться до града. В конце концов опасные тучи рассеивались, и небо становилось чистым. Сады и виноградники были спасены.

Великое начинается с малого. Умение улавливать небольшие аэрозоли — первый шаг на пути к победе над облаками. В быту и на производстве сейчас десятки остроумнейших ловушек подстерегают «малые облака», мешающие человеку работать или угрожающие его здоровью. Особенно распространены:

центробежные сепараторы, среди них так называемые циклоны, — аппараты, где отделение плотного от неплотного, твердых частиц от газовой среды производится при помощи закручивания аэрозолей и расслаивания этой среды на две вращающиеся сферы с разным удельным весом;

аппараты налипания, основанные на свойстве частиц прилипать к слегка охлажденным, особенно металлическим поверхностям;

фильтры тканевые и волокнистые — простейшая, но в то же время надежнейшая разновидность пылевых ловушек;

ванны-барботеры, приспособленные для промывания в целях очищения от пыли запыленных газовых потоков;

звуковые и ультразвуковые коагуляторы (буквально «слипатели»), в которых правильно подобранное акустическое облучение ускоряет процесс слипания частиц;

электрофильтры — аппараты, в которых склонность частиц к прилипанию усиливается во много раз их искусственной электризацией.

Из перечисленных ловушек всего эффективнее обычные тканевые или волокнистые фильтры. К сожалению, у них

существенный недостаток: высокие сопротивления движению загрязненного потока.

Интересную идею разработал эстонский инженер Семен Лазаревич Эпштейн. Он предложил перегораживать путь движения аэрозолей в аппаратах не неподвижным фильтром, как обычно, а завесой из сыплющегося вниз тяжелого взвешенного порошка. Движение фильтрующих частиц увеличивает вероятность столкновения частиц аэрозолей с фильтром, то есть делает последний как бы более густым. В то же время фактически между фильтрующими частицами остаются большие промежутки для прохода газа, а отсюда — незначительное сопротивление его движению.

Человек научился обуздывать и частицы покрупнее тех, что текут по трубопроводам и аппаратам. Ограничимся одним, но очень интересным и поучительным примером.

Страшен взрыв в каменноугольной шахте! Он быстр, внезапен и грозит большими бедствиями. Чем его остановить? Оказывается, это можно сделать с помощью аэрозоля.

Было установлено, что поднимаемая взрывной волной пыль (обычно известняковая) останавливает распространение взрыва. Важно лишь, чтобы применяемый для этой цели порошок хорошо распылялся. И вот стали делать так: добавлять к измельченному известняку полпроцента сажи. Сажа уменьшает силу сцепления известняка и улучшает распыляемость его при взрыве. Полученную смесь щедро рассыпали во всех местах, где могли скопиться газы или куда могла дойти взрывная волна.

С аэрозолями здесь стараются бороться аэрозолями же. Смекалкой превращают еще одну их разновидность в помощников человека.

Твердое — первое состояние вещества

Древнегреческий философ Эмпедокл (490–430 гг. до н. э.) считал, что мир построен из четырех стихий, или элементов: земли, воды, воздуха и огня. Учение Эмпедокла разделяли многие ученые древности, в том числе и Аристотель. Потом оно проникло в средние века и тоже пользовалось признанием.

А ведь если чуть перефразировать, сказать вместо Эмпедокловых «стихий» — «состояния», мы, пожалуй, согласились бы, что древние верно видели природу. Ведь и мы считаем, что вещество бывает в четырех состояниях: твердом, жидком, газообразном и в виде плазмы.

Среди причин, обусловливающих то или иное состояние, одна из первых, разумеется, температура: при очень низкой температуре станет жидким, а потом и твердым телом воздух, а при достаточно высокой испарится любой металл. Наша жизнь протекает при не слишком больших колебаниях температуры: скажем, если брать две крайности в природе — от минус 50 до плюс 40, — перепад в 90 градусов. Но это такой перепад, в котором вещества встречаются в разных состояниях.

Конечно, живи мы на Луне, естественные контрасты выступали бы сильнее: там разница суточных колебаний такова, что жители Луны могли бы днем купаться в расплавленной сере (плюс 129,5 градуса), а ночью кататься на коньках по замерзшему спирту (минус 127,5 градуса). Но мы живем в условиях высоких научных достижений и не нуждаемся в помощи природы, чтобы посмотреть, как выглядит вещество при сильных колебаниях температуры.

Ученые получают в лабораториях температуру ниже минус 273 градусов, всего на несколько десятитысячных градуса выше *абсолютного нуля*, предельно низкой в природе температуры (равной приблизительно минус 273,16 градуса; при этой температуре прекращаются все механические, или тепловые, движения молекул, остаются лишь особые движения, связанные с наличием так называемой нулевой энергии, открытой квантовой теорией). Наряду с такими низкими температурами в лабораториях достигают и невероятно высоких температур. Советскими учеными проведены эксперименты, в которых получалась устойчивая дейтериевая плазма с температурой 60 миллионов градусов.

Огромное большинство окружающих нас твердых тел представляют собой кристаллы — иногда в виде отдельных больших кристаллов, но чаще в виде очень прочно сцепившихся между собой мелких (бывает меньше тысячной доли миллиметра) кристаллических зернышек. Некристаллы — это стекло и пластмассы. Но, может быть, и их следовало бы отнести если не к кристаллам, то, по меньшей мере, к кандидатам в кристаллы. Известно много случаев, когда с течением времени стеклянные вазы в музеях постепенно теряли прозрачность, кристаллизовались. Кристаллизуются, простояв довольно долгое время, и другие, сперва некристаллические изделия.

Отличительная особенность кристаллов — их правильное, симметричное построение. Симметрично выглядит снаружи отдельное кристаллическое зернышко, симметрично и внутри

расположение каждой частицы по отношению ко всем другим.

Если бы мы решили с помощью воображения прогуляться внутри кристалла и шли бы, никуда не сворачивая, все время прямо, то, попадая в разные местности, мы обнаруживали бы смену пейзажей лишь определенное, сравнительно небольшое, число раз. Потом все начиналось бы сначала, в той же последовательности.

Кристалл неоднороден по свойствам в разных направлениях: его прочность, электрические и оптические свойства, проводимость тепла в одних направлениях отличаются от этих свойств в других направлениях. Такая особенность кристаллов называется *анизотропией*. Некристаллические твердые вещества (стекло, пластмассы, — их называют еще *аморфными* веществами, что значит бесформенные), а также жидкости и газы *изотропны* («изо» по-гречески — «одинаково», а «тропос» — «направление»): их свойства одинаковы во всех направлениях.

Какие силы заставляют кристаллические тела сохранять неизменными свои формы? Даже не вдаваясь еще в детали этого вопроса, можно сказать уверенно, что там должны быть два рода сил — притяжения и отталкивания. Если бы не было первых, кристалл рассыпался бы на части, не будь вторых — он уменьшился бы в размерах и достиг фактически ненаблюдаемых плотностей.

А что происходит при нагревании кристаллического тела? Атомы начинают интенсивнее двигаться, но так как из-за действующих в твердом теле сил притяжения они не могут оторваться один от другого, они колеблются вокруг своих средних, равновесных положений.

Кстати, силами же, действующими между атомами, объясняется и упругость твердых тел: для изменения их формы

требуется сила, когда же она (по достижении известного предела) устраняется, деформированное тело под влиянием внутренних сил возвращается в прежнее положение.

Лишь сравнительно недавно удалось нарисовать довольно убедительную картину действия внутренних сил в кристалле. Она, по-видимому, похожа на то, что происходит в масштабах молекул, где это выглядит так.

В большинстве неорганических соединений молекулы приобретают свою прочность при помощи так называемой ионной связи. Электроны, частицы с отрицательным электрическим зарядом, отделяются («отчуждаются») от атома, и тотчас образуются ионы: осколки молекул, которые, в отличие от электрически нейтральных атомов, заряжены положительным или отрицательным электричеством. Мгновенно вступает в действие закон Кулона — электрические плюс и минус ионов притягиваются друг к другу, и это вместе с силами отталкивания приводит к образованию устойчивой, стабильной молекулы.

Органические вещества в большинстве своем обязаны устойчивостью их молекул другому виду связи, так называемой ковалентной связи. Здесь электроны не «отчуждаются», а «обобщаются» двумя (или больше) атомами. Простейший пример — молекула водорода. Она состоит, как известно, из двух водородных атомов. Каждый атом, в свою очередь, — это сочетание положительного протона и отрицательного электрона. Соединение атомов в молекулу происходит благодаря тому, что оба электрона как бы связывают между собой протоны своим «коллективизированным» движением.

В кристаллах, как и в молекулах, возможна ионная и ковалентная связь. Полная картина связи в кристаллах, однако, очень сложна, и мы ее рассматривать не будем.

Ученым, работающим в области физики твердых тел, приходится особенно много трудиться, потому что их наука — одна из важнейших в наше время. При этом от специалистов по твердым телам все требуют большой практической отдачи.

«Главным стимулом, — писал академик Л. А. Арцимович, — для разработки большинства проблем современной физики твердого тела является уже не столько внутренняя логика развития научных идей, сколько перспективы технических применений (иногда близкие, а иногда довольно далекие). При этом вместо вопроса „почему?“ главным вопросом становится „как это сделать?“».

Объясняется это тем, что теперь всем людям, прогрессу техники, науки, быта особенно нужны не столько вещества, сколько материалы.

Даже образованные люди часто путают эти слова: «вещества» и «материалы». А между тем они отличны друг от друга. Вещество — еще далеко не материал, оно лишь сырье для производства материала. Возьмите, например, бетон; это строительный материал, а его приготовляют из веществ — песка, цемента, щебня и воды. Резину делают из каучука и сажи, значит, она — материал, а веществами надо считать каучук и сажу.

Разумеется, в чисто физическом смысле и материалы — те же вещества. Но этим веществам человек придал какие-то особые, нужные ему в его практической деятельности, свойства и тем выделил из окружающей природы.

Пример того, как создают ученые наших дней новые твердые материалы, нужные народному хозяйству, — труд академика Кузьмы Андриановича Андрианова и результаты его работ, за которые он получил Ленинскую премию 1963 года.

Разве удалось бы К. А. Андрианову создать целый класс новых материалов с чудесными свойствами, так называемых полимеров с неорганическими главными цепями молекул, не проведи он четверти века в лаборатории. Задача, которую он пытался разрешить, сперва казалась почти неразрешимой: как соединить в полезное для человека вещество неживое и «живое» — скажем, кремний и какие-нибудь органические молекулы?

Самые опытные химики приходили к выводу, что игра не стоит свеч, что на основе кремния, кислорода и органических радикалов нельзя практически создать ничего стоящего. В тот самый год, когда Андрианов впервые начал заниматься таким, казавшимся безнадежным, делом, известный английский ученый, профессор Киппинг, словно специально, чтобы охладить пыл русского коллеги, сказал на заседании английского Королевского химического общества:

— Я исследую химию кремнийорганических соединений пятьдесят лет и полагаю, что перспективы быстрого развития этой области химии и получения практически полезных результатов не слишком обнадеживающие.

Но советский ученый упорно шел своим путем. Он знал: очень много сулил народному хозяйству успех и поэтому стоило за него бороться.

Давно известно, что добавки к обычной стали небольших количеств хрома, никеля или марганца резко изменяли структуру металла, превращали его в высококачественную нержавеющую сталь. Вообще каждый «посторонний» металл, вводимый в основную неорганическую цепочку, меняет ее свойства. Раскрывая закономерности подобных сочетаний, металлурги научились очень тонко изменять свойства стали в желаемом направлении.

Делали они это путем введения в сталь определенных элементов в определенных количествах. Работы Андрианова, по существу, сводились к тому же самому, только вместо стали он брал за основу другой материал — обычно кварц.

Природный минерал кварц представляет собой структурно жесткую хрупкую сетку из атомов кремния и кислорода. «А что, если в некоторых узлах этой сетки поместить вместо кремния другой элемент, например титан, алюминий или бор? — думал Андрианов. — И что, если к атомам кремния подвесить органические радикалы? Не этим ли путем надо идти, чтобы получать вещества с необычным сочетанием свойств, например эластичности с теплостойкостью?»

Много опытов проделал Кузьма Андрианович, много различных химических реакций перепробовал, прежде чем ему удалось — впервые в мире — получить ряд синтетических полимеров с неорганическими главными цепями молекул на основе сочетания кремния с другими элементами: алюминием, титаном, бором, оловом и некоторыми другими. К каждому атому кремния ученый «подвесил» органические радикалы. Иначе говоря, превратив кварцевую сетку в кварцевую цепочку, он создал вокруг нее оболочку из углеродосодержащих органических радикалов. Благодаря тому, что здесь появились органические радикалы, материал приобрел эластичность, гибкость, а также способность растворяться в органических растворителях (это часто очень важно, например, для лаков). Вместе с тем в новом веществе сохранилось такое свойство полимерной цепочки в кварце, как теплостойкость.

Гибкий кварц! Мог ли кто-нибудь предполагать, что это может быть создано?

Вводя в обыкновенное стекло 15 % органических радикалов, Андрианов из жесткого и хрупкого стекла получал… настоящий каучук. Этот каучук почти ничем не отличается от натурального, но он не теряет своих свойств и при температуре до 320 градусов! А ведь ни один иной каучук, кроме так называемого силиконового, не выдерживает подобного нагрева.

Некоторые из разработанных ученым кремнийорганических соединений применяются теперь для обработки хлопчатобумажных и шерстяных тканей.

В результате этой обработки, потребляющей сущие пустяки нового вещества, в среднем 1,0–1,5 % от веса ткани, ткань приобретает свойство совершенно не смачиваться водой. Человек, одетый в костюм из материала, обработанного специальным кремнийорганическим соединением, может, не раздеваясь, переплыть реку. На другом берегу он отряхнется, и вода скатится

с его костюма, как ртуть со стеклянной плоскости.

Делают теперь и другие удачные сочетания элементов. Кремний и алюминий входят в состав теплостойких пластмасс. Кремний, титан и олово содержатся в каучуках и смазочных маслах. Кремний и бор — элементы, входящие в состав клеев.

Электроизоляционные материалы и жаростойкие эмали, клеи и лаки, теплостойкие пластмассы и смазочные материалы — многое производится по методу замечательного советского ученого.

Самое широкое применение в различных областях народного хозяйства получили чудесные материалы, разработанные Андриановым и его учениками.

Жидкое — второе состояние вещества

Помня о силах, действующих между молекулами или атомами твердых тел, нетрудно догадаться, почему эти тела плавятся. Потому что при повышении температуры колебания каждого отдельного атома около его нормального положения становятся все сильнее и это необратимо нарушает весь порядок. Постепенно усиление колебаний одних атомов станет отражаться на движении соседних: те будут все больше отклоняться от средних положений в кристалле. Их отклонения, в свою очередь, ослабят стремление раскачавшихся атомов вернуться к нормальным движениям. Хаос будет нарастать, и все кончится тем относительно свободным движением молекул или атомов, которое отличает жидкость.

Можно объяснить, как вещество становится жидкостью, труднее — откуда присущие ей свойства.

Почему твердое тело твердо, газ газообразен, а жидкость жидкая? Физика отвечает на первые два вопроса. Твердость тел — следствие одновременного существования сил притяжения и сил отталкивания между частицами, образующими тела — молекулами, атомами или ионами. При уменьшении расстояния между частицами преобладают силы отталкивания, при возрастании — верх берут силы притяжения. Газ состоит из молекул, которые, за исключением моментов соударений, почти не взаимодействуют между собой. Они свободно движутся во все стороны и распространяются на весь предоставленный им объем. Отсюда то, что называется газообразностью.

А почему жидкость жидкая, то есть текучая?

Жидкость занимает промежуточное положение между газом и твердым телом. Она имеет черты сходства с тем и другим.

С газом жидкость особенно близка в так называемой критической точке, определяемой «критической температурой» и соответствующим ей «критическим давлением». «Критическая точка» — своеобразный погранзнак между жидкостью и газом. Выше ее, точнее, выше «критической температуры», может существовать только газ; ниже, в зависимости от давления, вещество может быть и газообразным и твердым. В самой «критической точке» различие между жидкостью и газом в некотором смысле исчезает.

С твердым телом жидкость родственна по ряду признаков. Плотность жидкости отличается от плотности твердого тела всего лишь на десять и менее процентов. Жидкость обладает некоторой прочностью на разрыв.

И все же в жидкости есть много такого, что резко отличает ее и от твердых тел и от газов.

Жидкость совершенно не имеет твердости. Она течет. Если в твердом теле средние положения образующих его частиц расположены в правильном порядке, то в жидкости такого порядка нет. В жидкости молекулы непрерывно перемещаются относительно друг друга, и упаковка их, почти такая же плотная, как у твердых тел, не препятствует этому перемещению.

Построение молекулярной теории жидкого состояния — задача чрезвычайно сложная и пока еще не решенная. Но именно потому, что это сложно, все большее число ученых пытается решить задачу, предлагает различные гипотезы.

Любопытно, что в самые последние годы *«тайна жидкости»* стала еще глубже, еще заманчивей. Был сделан ряд таких ошеломляющих открытий новых свойств вещества в его жидком состоянии, что во всем ученом мире это вызвало самый острый интерес, породило множество исследований.

Начать с того, что, как было неожиданно установлено, жидкость, подобно твердому веществу, обладает упругостью — ничтожной, но обладает.

Раньше все считали, что течение жидкости определяется исключительно внешними силами, хотя бы незначительными (пример: течение рек под влиянием небольших наклонов земной поверхности, то есть силы тяготения), и тем сопротивлением движению, которое оказывает вязкость. А вязкость, как известно, носит совершенно пассивный характер: она замедляет выливание жидкости из опрокинутого сосуда (замедляет изменение прежней формы жидкости этим выливанием), но не имеет и следа той силы, которая активно сопротивлялась бы изменению прежней формы, старалась бы вернуть вещество в первоначальное положение. В этой отсутствующей как будто бы в жидкостях силе и выражается суть упругости.

Открытие упругости жидкости, или, говоря точнее, упругости ее формы, означает, что когда жидкость течет, то что-то в ней старается этого течения не допустить, что-то как бы тянет струи жидкости обратно, пусть без заметного внешне эффекта.

Советский ученый, ныне член-корреспондент Академии наук СССР Борис Владимирович Дерягин установил это свойство на воде, в фантастически тонком ее слое (меньше одной тысячной миллиметра). Теперь физикам уже известно, что свойством упругости формы обладают все без исключения жидкости. Различие лишь в том, что у одних жидкостей (вода, спирты и др.) упругость увеличивается с уменьшением слоя после одной десятитысячной миллиметра, а у других (например, у бензола

или у четыреххлористого углерода) остается неизменной, сколько бы толщина слоя ни уменьшалась.

Второе поразительное открытие — открытие, по выражению Б. В. Дерягина, «меняющее, быть может, радикально (то есть чрезвычайно сильно, коренным образом) наши взгляды на природу жидкого состояния вещества», это находка того, что жидкости обладают… «памятью».

До последних лет слово «память» обычно связывали с жизнедеятельностью самых высокоорганизованных существ: во-первых, человека, а во-вторых, в гораздо меньшей степени, высших животных.

Сенсацией прогремело открытие несколько лет назад московским профессором Сергеем Степановичем Чахотиным памяти у простейших, одноклеточных (точнее, у так называемых туфелек). Чахотин пускал такую одноклетку в каплю воды и наблюдал через сильный микроскоп, что она там делает. Оказывается, «изучив и запомнив», что ее мир — прудик с круглым бережком, в который бесполезно тыкаться, одноклетка начинала резво кружить по кругу возле бережка, не задевая его. Потом Чахотин перегораживал частично туфельке путь: он пускал с одного бережка тонкий и короткий ультрафиолетовый лучик и туфелька, обжегшись о него несколько раз, «запомнила», где он находится, и стала его обходить не касаясь. Потом профессор гасил лучик. Однако туфелька, «помня» об опасности и сперва «не веря», что ей ничто уже не грозит, продолжала двигаться по-прежнему: полный почти кружок — вдруг скачок внутрь своего прудика, снова кружок и опять скачок, пока постепенно «не забывалось». Срезая и срезая внутренний уступ (бестолковых движений не любят, как оказывается, и существа из одной лишь клетки), туфелька в конце концов возвращалась к своей исходной, идеально круглой траектории.

Повторяю: это было сенсацией. И вдруг — открытие «памяти» у воды!

В чем же эта «память» проявляется?

А вот в чем. Плавили лед и получали воду. Тут же исследовали ее свойства и вдруг убеждались, что некоторыми свойствами получающаяся вода продолжала походить на лед, хотя и была уже жидкостью. Какими, например? Например, вязкостью (и лед и вода обладают этим свойством, но значения их разные).

Выходило, что вода как бы «помнила» некоторое время свое прошлое. «Помнила» и не хотела с ним расставаться. По данным новосибирских физико-химиков А. Н. Каргинцева, В. М. Соколова и Л. Н. Ефанова, а также пакистанца М. Кураши и некоторых

других ученых, вода «помнит» свое прошлое много часов. Только после этого она его окончательно «забывает» и становится водой, ничем уже не отличаясь от всех прочих вод такого же состава и в одинаковых условиях.

«Память» была установлена и у других жидкостей, например у расплавленного таллия.

Поговорим теперь особо о воде, о самой распространенной на Земле жидкости.

Известнейший советский геохимик и исследователь истории Земли академик Александр Павлович Виноградов сказал однажды: «Вода — самая удивительная жидкость, с которой встречается человек».

Как это точно сказано! Кажется, нет теперь специалиста, который не подписался бы под этими словами. Кто бы из ученых ни «смотрел на воду своими глазами», то есть не изучал бы ее с позиций своей науки, всякий видит в ней что-то совершенно исключительное, что-то существующее у нее одной.

«Для физиков и химиков вода — это вещество, занимающее особое место среди миллионов веществ, известных науке, — писал, развивая мысль А. П. Виноградова, профессор И. А. Хвостиков, — почти все физические и химические свойства воды — нечто исключительное, необычное в природе».

В самом деле, почему если объем всех твердых тел при плавлении увеличивается и они тонут в своем расплаве, то лед не тонет, а плавает в воде? — спрашивает физик.

Химика поражает другое. Это способность воды растворять в себе всевозможные вещества. Растворять так много, как ни одна другая земная жидкость.

Физиолог заметит то же и добавит, что все жизненно важные процессы идут в организме в водных растворах.

Биохимики и астрофизики убедительно доказывают, что сама жизнь на Земле обязана своим зарождением воде. Многие при этом добавляют: не пресной, а соленой воде (средняя соленость океанической воды 3,5 процента). Не будь вода в океанах соленой — не было бы на Земле ничего живого, жизнь на нашей планете не могла бы зародиться. Ведь соли те — это питание живого.

И еще три мнения, отмечающих важность и исключительность воды.

Географ: «Вода — это строитель природы. Весь облик планеты постоянно меняется, а это ведь проявляет себя работа воды. Нет на Земле ни одного твердого тела, в котором не было бы воды».

Метеоролог: «Круговорот воды в природе составляет главный процесс в биосфере Земли».

Наконец, физико-химик: «Заметьте, какое большое

поверхностное натяжение свойственно воде! Благодаря ему вода в капиллярах, то есть в тонких трубках, может подниматься на несколько метров. Вместе с огромной способностью растворять в себе соли это свойство капиллярности воды делает возможным земледелие: поднимающаяся из почвы вода снабжает питательными растворами всю растительность, в том числе и самые высокие деревья». (Все эти примеры я взял из статьи профессора И. А. Хвостикова «Самая удивительная на Земле жидкость — вода», опубликованной в журнале «Земля и Вселенная» № 3 за 1969 г.)

Что же можно сказать о происхождении этих свойств воды? Как можно их объяснить, хотя бы в некоторых случаях приблизительно?

Ответим на вопросы, которые могли бы возникнуть у любознательного человека, узнавшего впервые о некоторых из приведенных выше мнениях.

Почему при расплавлении все твердые тела тонут в своем расплаве, а лед плавает?

Это объясняется тем, что во льду каждая молекула связана с четырьмя соседними. Находятся же все они, судя по микромасштабам, далеко одна от другой, поэтому лед сравнительно мало плотен: в нем много внутренних пустот. Когда же лед расплавляется, то часть связей, соединяющих его молекулы, разрушается, и молекулы, оторвавшиеся от соседей, устремляются в пустоты. Вода получается плотнее, и легкий,

нерастаявший лед всплывает на поверхность. У других твердых тел дело обстоит иначе. Там плотность вещества при расплавлении не увеличивается, а уменьшается и, скажем, «металлические льдины» тонут в своей «металлической воде».

Почему вода — хороший растворитель?

Популярно это объяснить непросто. Ответим в самом общем смысле: это связано с молекулярным строением воды и вытекающими отсюда ярко выраженными электрическими свойствами молекул. Тело, оказавшееся в воде, очень чувствует эти свойства. На поверхности тела чрезвычайно ослабляется молекулярное притяжение. Настолько, что это притяжение уже не может сопротивляться ударам молекул друг о друга при их тепловом движении. Атомы или молекулы начинают постепенно отрываться от поверхности тела и переходить в воду. А это и есть процесс растворения.

Какова, с современной точки зрения, общая картина перемещения воды на нашей планете?

Ученые отвечают так. Миллионы лет вода постепенно переходит из недр Земли на поверхность, образуя и заполняя океаны. С поверхности водной оболочки Земли вода каждодневно испаряется, образует облака и туманы. Затем, сгустившись в дождь, снег или росу, вода опять возвращается на Землю — в почву и в океаны. Но возвращается не вся. Часть паров увлекается воздушными потоками через стратосферу в более высокие слои атмосферы, и там под действием солнечных ультрафиолетовых лучей молекулы H_2O распадаются на водород и кислород. Водород, частицы которого самые легкие и быстрые, преодолевает в какой-то своей доле земное притяжение и ускользает в мировое пространство.

Выходит, что Земля наша все время «испаряется», но страшного здесь, кажется, ничего нет. Она не только испаряется: одновременно она захватывает своей атмосферой водород из плазмы так называемого солнечного ветра (о плазме смотри чуть дальше: «Четвертое состояние вещества»). Такой захваченный водород проникает в более глубокие слои атмосферы и образует там новые молекулы H_2O.

Может быть, как полагают некоторые ученые, эти именно молекулы дают начало «солнечному дождю» на высотах около 100 *км* над уровнем моря, в слоях, где иногда появляются самые высокие облака Земли — *серебристые облака*.

Газообразное — третье состояние вещества

Не задумывались ли вы когда-нибудь над тем, какое состояние вещества для нас всего важнее? Почти все, кому я задавал такой вопрос, прося ответить не подумав, ответить сразу, ошибались. Потом лишь, в следующий момент спохватывались: «Газ, конечно!»

Да, безусловно, газ. Живем мы на твердом веществе, живем у жидкого (даже то, что едим, на 90 процентов состоит из воды), но всего важнее для нас третье состояние вещества, потому что мы живем в нем.

Если рыб называют морскими существами, кротов — земляными, то было бы вполне естественно применять иногда к человеку определение «существо воздушное». Воздух — наша стихия, без него нам не прожить и десяти минут.

Мы живем на дне чудесного океана, прозрачность которого, бывает, вводит в заблуждение наивных: не сразу соглашаются, что он тяжел. А он весит, как мы говорили, 5000 триллионов тонн. И он фантастически глубок, по последним данным — до 3000 километров.

Мы уже говорили о некоторых отличиях газообразных стихий от твердых тел и от жидкостей. Назовем еще одно: молекулы твердых тел и жидкостей — каждые в своей среде — вплотную прижимаются одна к другой. Совсем иное у газов. Плотность газа, находящегося под нормальным атмосферным давлением, примерно в 100 раз меньше. Это значит, что средние расстояния между молекулами газа очень велики. Чтобы столкнуться с другой молекулой, газовая молекула должна пройти расстояние, во много раз превышающее собственный размер. Частицы газа «живут» куда обособленнее частиц жидкостей и твердых тел.

Примерно 300 лет назад английский физик и химик Роберт Бойль (1627–1691) и независимо от него французский аббат Мариотт (1600–1684) открыли очень важный газовый закон, который с тех пор называется *законом Бойля — Мариотта*; читается он так:

> Объем данной массы газа обратно пропорционален давлению, если температура постоянна.

Или в несколько иной формулировке:

> Произведение давления на объем есть величина, постоянная для данной массы газа при неизменной

температуре.

Закон этот нашел широчайшее применение у всех, кто так или иначе соприкасается с необходимостью рассчитывать устройства, в которых происходят изменения давлений и объемов газов, например, при проектировании двигателей внутреннего сгорания или в вакуумной технике.

Другой, не менее важный закон в области газов был сформулирован итальянским физиком Амедео Авогадро (1776–1856). Закон этот читается так:

> В равных объемах любых двух газов, находящихся при одних и тех же давлении и температуре, содержится одинаковое число молекул.

Выходит, что отношение масс двух газов одинаковых объемов при одинаковых давлениях и температуре равно отношению их молекулярных весов. Законом Авогадро воспользовались, чтобы получить таблицу отношений атомных масс. Отношение масс атомов кислорода и водорода равно 16 : 1,008. И вот ученые договорились считать атомный вес кислорода в точности равным 16. В таком случае молекулярный вес кислорода (молекула кислорода состоит из двух атомов) равен 32, а вес молекулы водорода — 2,016. Они договорились также ввести новую единицу массы для каждого вещества: *граммолекулу*, или *моль*.

> Граммолекулой, или молем, называется количество вещества, масса которого в граммах равна молекулярному «весу».

Выходит, например, что одна граммолекула водорода равна 2,016 грамма.

Число молекул в одной граммолекуле всегда одно и то же, независимо от вещества. Когда это число подсчитали, оказалось, что оно равно: $N = 6{,}02 \cdot 10^{23}$.

Величину N назвали «числом Авогадро».

По закону Авогадро, 1 граммолекула любого газа занимает один и тот же объем при одинаковых давлениях и температуре. При температуре 0 градусов и давлении 1 атмосфера объем граммолекулы получается равным 22,4 литра.

Плазменное — четвертое состояние вещества

Возьмем металлическое тело, скажем пулю, и, положив ее в жароупорный тигелек, поставим тигелек в электропечь. Пройдет немного времени, и пуля расплавится, превратится в жидкость, вещество перейдет во второе состояние.

Но будем повышать нагрев. Если возможности печи позволят, металл в конце концов закипит и испарится. Вещество перейдет в свое третье состояние.

Ну, а если нагревать дальше? Что будет с газом, если его нагревать до 4, 5, 6 тысяч градусов?

Не так еще давно даже самые осведомленные физики на этот вопрос отвечали, что ничего особенного не произойдет. Газ просто нагреется сильнее, вот и все. Его молекулы приобретут высокую кинетическую энергию и станут еще быстрее метаться между стенками сосуда.

В таком ответе не было ничего удивительного. Люди не умели тогда получать особенно высоких температур и не могли знать, что будет с веществом, допустим, при 6000 градусов. В обычных топливных печах максимальная температура достигает только 2000, а в электрических — 3000 градусов.

Теперь положение изменилось. Даже в промышленных условиях добиваются иногда температур порядка 12 000 градусов. А физики по «добыванию» высоких температур превзошли пределы самых невероятных фантазий.

В Институте атомной энергии научным сотрудником М. С. Иоффе были произведены эксперименты, в которых удалось получить температуру для дейтерия 60 миллионов градусов — в три раза более высокую, чем в центре Солнца (по современным представлениям, температура в центре Солнца несколько менее 20 миллионов градусов). Академик Евгений Константинович Завойский добился еще более эффектных результатов: в своих опытах ему вместе с сотрудниками удалось нагреть потоки электронов до температуры свыше 100 миллионов градусов.

Сейчас уже известно точно: выше 6000 градусов газы, даже что ни на есть устойчивые, как бы испаряются.

Что же с ними происходит?

Когда при бешеных скоростях, вызванных сильным нагревом, атомы вещества сталкиваются один с другим, из них выбиваются электроны. Утрачивая часть электронов, атомы превращаются в положительные ионы, то есть в «осколки», заряженные

положительным электричеством. Электроны, как известно, заряжены отрицательно. В результате получается смесь из отрицательных электронов, положительных ионов и не успевших «испариться» нейтральных атомов. Так как положительное электричество в такой смеси равно отрицательному электричеству, смесь в целом остается нейтральной. Но электроны сталкиваются между собой и с ионами и заставляют «испаренный газ» светиться (что бывает, впрочем, не всегда, а лишь при достаточном количестве частиц; если разрежение высокое, вещество может стать совсем невидимым).

Облако материи в таком особо возбужденном состоянии и называется плазмой. Открыл ее в 1920 году выдающийся индийский астрофизик Мег Над Сага.

Что плазма уже не газ, а качественно совсем иное, новое состояние вещества, ученые убедились довольно быстро.

Каждое состояние вещества имеет свои особые свойства, не похожие на свойства остальных состояний. Имеет их и плазма.

Свойства плазмы резко отличаются от свойств газа. Газ, например, — электрический изолятор. Плазма, хотя она в целом и нейтральна, как газ, наоборот, прекрасно проводит электрический ток. В отличие от металлов, которые проводят ток тем хуже, чем больше они нагреты, электропроводность плазмы растет с увеличением температуры.

Теория говорит, что при очень высокой температуре плазма практически должна обладать свойством сверхпроводимости, то есть ее электрическое сопротивление должно быть близко к нулю. Кроме того, плазма — идеальный проводник тепла, она — сверхтеплопроводящий материал.

В плазме очень много тепла, но есть и то, чего нет ни в одном теплоносителе, — *порядок*. Сильное магнитное поле, в котором добывается плазма, вносит в ее движение порядок, причем необыкновенный: винтовой, или иначе — гиротропный.

Острый интерес к плазме в наши дни вызван многими причинами. Первая, конечно, заключается в том, что, как оказалось, плазма гораздо больше распространена в природе, чем это можно было бы предполагать. Почти вся Вселенная состоит из плазмы. Из плазмы состоят Солнце, горячие звезды, туманности, межзвездный газ.

Выяснилось, что с плазмой люди имели дело задолго до ее открытия.

Вода начинает испаряться еще до того, как достигает температуры своего кипения. И плазма образуется не обязательно при температуре 6 и выше тысяч градусов. Она возникает, например, под воздействием сильного облучения газа

рентгеновыми или ультрафиолетовыми лучами. Поместив газ в мощное электрическое поле, его также можно привести в состояние ионизации, частично обратить в плазму.

Слабо горит свеча. И все же ее пламя хоть в малой степени, но ионизировано. Это еще не настоящая плазма, но уже намек на нее. А вот ослепительный свет электрической дуга и мягкое свечение неоновой трубки прямо исходят от плазмы. Близко к настоящей плазме пламя сварочной горелки и форсунки дизеля, пламя в цилиндре двигателя внутреннего сгорания.

Кратковременное плазменное состояние возникает в стволе орудия при выстреле. Вообще при всяком взрыве большой массы взрывчатого вещества происходит образование плазмы.

Плазма образует канал электрической искры и молнии. Ионизированные слои в атмосфере Земли состоят из плазмы. Полярное сияние есть не что иное, как свечение ионизированного газа, то есть тоже плазмы.

Юрий Гагарин совершил свой подвиг буквально в объятиях плазмы. Когда космический корабль «Восток», взметнувшись с площадки космодрома, с грохотом пробивал плотные слои атмосферы, сопла ракетного двигателя извергали плазму.

Плазма широко распространена повсюду, но, пожалуй, еще сильнее привлекает она внимание ученых своими возможностями для техники будущего.

Плазма — самое перспективное состояние вещества для преобразования тепла непосредственно в электричество. По-

видимому, в безмашинных электростанциях будущего в движении будет находиться только плазма. Проходя между полюсами сверхмощных магнитов, потоки плазмы будут превращать энергию своего движения в энергию электрического тока.

Не за горами создание и космических кораблей с плазменными двигателями. С такими двигателями, выбрасывающими реактивную плазменную струю со скоростями в десятки или даже сотни тысяч километров в секунду, можно отправиться на исследование самых далеких планет Солнечной системы.

Весной 1965 года советские ученые провели первые успешные испытания плазменных двигателей в космических условиях — на борту космического корабля «Зонд-2».

Велики перспективы плазмы и в области управляемых термоядерных реакций. Академик Л. Н. Арцимович считает даже, что это важнейшая задача плазмы. Он писал:

> «Физика плазмы не относится к магистральным направлениям науки, но тем не менее за последнее десятилетие она разрабатывается весьма интенсивно, так как с ней связаны надежды на решение задач исключительного перспективного значения. Первое место среди них занимает общеизвестная проблема управляемого термоядерного синтеза, решение которой должно полностью устранить угрозу энергетического голода на нашей планете».

Волшебный вкус квинтэссенции

Итак, четыре состояния вещества — твердое, жидкое, газообразное и плазменное. Совсем, как древнегреческие четыре стихии — земля, вода, воздух, огонь. Как вновь и вновь не вспоминать знаменитые слова Ф. Энгельса о философии античной Греции: «В ней имеются в зародыше все позднейшие типы мировоззрения».

Человек правильно видит природу. Мы могли бы проиллюстрировать эту мысль и еще на одном примере: на учении Аристотеля о квинтэссенции.

Мы называем квинтэссенцией самое отборное, наилучшее; для нас это слово — синоним тончайшего и ценнейшего в предмете. Буквально здесь не так, но по существу совпадает со смыслом, вложенным в это слово его изобретателем.

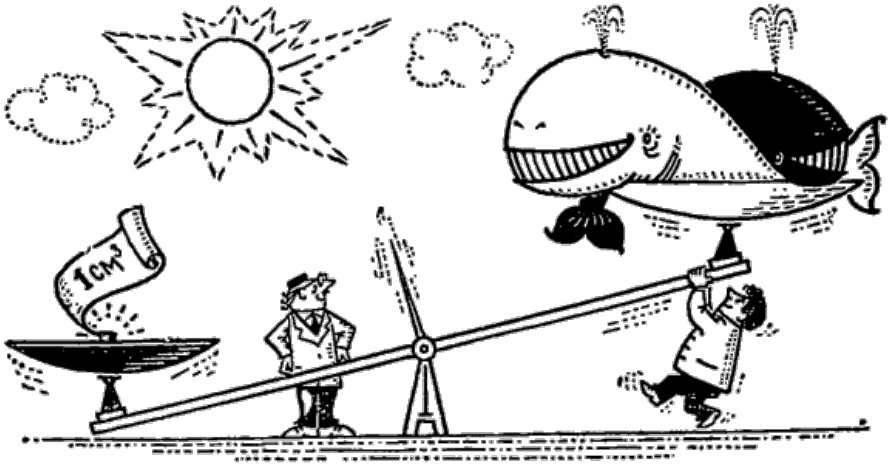
Понятие «квинтэссенция», буквально «пятая сущность», было придумано в развитие Эмпедоклова учения о четырех стихиях. По Аристотелю, квинтэссенция — сущность, примиряющая противоречивые качества вещей. А ведь такая сущность действительно самое тонкое и важное в предмете: это следующий шаг, это новые поиски и находки. В квинтэссенции затаена идея прогресса: во все времена движение вперед начиналось с попыток примирить противоречия.

Есть своя квинтэссенция и в современных представлениях о различных состояниях вещества. Что же она примиряет?

Вот противоречие номер один: плотность и очень высокая температура. Не только у человека несведущего, но и у знающего физику легко (и обоснованно) может сложиться впечатление, что в общем-то эти свойства тел взаимно отталкиваются друг от друга. В практике людей максимальной плотностью обладают твердые тела. Если последние нагревать, то связи между молекулами (а потом и внутри них) станут ослабевать и вещество будет переходить во все менее плотные состояния.

Теоретические исследования внутреннего строения звезд, однако, показали, что высокие температуры прекрасно уживаются с высокими плотностями материи.

Существуют, например, так называемые белые карлики — слабо светящиеся, медленно угасающие звезды. Они невероятно плотны. 1 кубический сантиметр вещества такого небесного тела может весить тонны и даже около 100 тонн. Это во много раз плотнее вещества Солнца, 1 кубический сантиметр которого (в центре Солнца) весит всего 100 граммов.



Из-за своей огромной массы и сравнительно небольших размеров белый карлик обладает гравитационными полями (полями тяжести) в сотни тысяч и в миллионы раз большими, чем поле Земли. Поэтому поверхность такой звезды представляет собой почти идеальную сферу: горы на ней не могут быть выше нескольких миллиметров, а атмосфера — нескольких метров.

Огромная сила тяжести сжимает умирающую звезду, и та с последними вздохами своей жизни необычайно вдруг разогревается — до миллиардов градусов. Но это только ускоряет ее гибель. «Значительное повышение температуры в ее недрах до нескольких миллиардов градусов, — говорила по этому поводу профессор Алла Генриховна Масевич, — может привести к интенсивному образованию пар нейтрино — антинейтрино (элементарные частицы, свободно пронизывающие даже самые плотные небесные тела. — *В. К.*), которые, быстро уходя из звезды, уносят с собой большое количество энергии. В результате возможно практически „мгновенное“ охлаждение центрального ядра».

Совокупность высоких плотностей с большими температурами находится и у нас под ногами — в недрах нашей собственной планеты. Вулканический жар (возможно до 3000–4000 градусов) и давления, как полагают, превышающие 3000 тонн на квадратный сантиметр, — такова обстановка, отдаленная от нас примерно на 6370 километров. Это центр Земли. На реактивном самолете мы долетели бы до него за 7 часов, а чудес, с которыми там встретились бы, оказалось, пожалуй, побольше, чем на Луне.

Известный английский ученый профессор Артур Кларк (специалист по космосу и… морю, — бывает же такое сочетание! Сюда надо прибавить и умение писать прекрасные научно-

фантастические романы) высказывает предположение, что в центре Земли может находиться что-нибудь такое, что мы захотим не только увидеть, но и потрогать. «Может быть, там есть вещества, столь плотные под влиянием сверхдавления, что обычные скальные породы для них менее плотны, чем для нас воздух», — говорит Кларк.

А ведь гранит только в 2000 раз плотнее воздуха, в то время как разрозненная материя в центре «карликов» в миллионы и даже в 10 миллионов раз плотнее гранита. В одном из своих произведений («Внутренние огни») Кларк писал о гипотетических существах из сверхуплотненной материи, которые могли бы плавать в недрах нашей Земли, как рыба в море. Правда, потом он сказал: «Надеюсь, что никто не воспринял эту идею серьезнее, чем я сам, — однако добавил: — Но эта фантазия может нас подготовить к тому, чтобы принять почти столь же поразительную и значительно более хитроумную действительность».

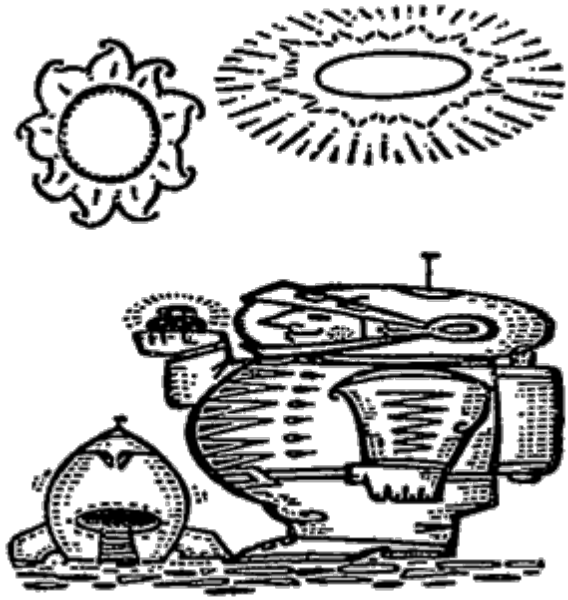
Итак, большие плотности согласуются с большими температурами и подводят человеческую мысль к массе необычных и неожиданных ситуаций. Но мысль никогда не довольствуется достигнутым пределом. Человек не просто тянется к Неведомому, а тем сильнее, чем оно дальше и недоступнее.

Еще до последних открытий в астрономии было высказано допущение, что в космической целине встречаются условия, при которых вещество сжимается до давлений в миллиарды раз более высоких, чем в белых карликах.

В 30-х годах советский физик Лев Давидович Ландау сделал расчеты, из которых вытекало, что если вещество сжать до очень высоких давлений, то электроны, содержащиеся в нем, могут, ломая и круша структуру, вдавиться в атомные ядра. Соединяясь там с положительно заряженными частицами — протонами, они превратят их в не имеющие электрического заряда нейтроны. В результате обычное вещество перейдет в новое — нейтронное — состояние.

1 кубический сантиметр такого вещества должен весить не менее миллиона тонн!

Но существуют ли реально нейтронные звезды? Ряд косвенных соображений позволяет ответить на вопрос «да». Окончательный ответ, однако, пока не получен и, естественно, не может быть получен быстро, потому что, если нейтронные звезды существуют, их трудно наблюдать: вследствие своих сверхвысоких плотностей они должны быть очень маленькими.



Сопоставление других противоположностей — вещества, состоящего из частиц с зарядами (электрическими и другими) тех знаков, которые они имеют в нашей части мира, и так называемого антивещества, то есть вещества из частиц с зарядами противоположных знаков, — отличительная особенность другого теоретического предположения.

Директор Бюраканской обсерватории в Армении академик Виктор Амазаспович Амбарцумян и один из его помощников, профессор Г. С. Саакян, высказались за возможность существования наряду с нейтронными еще более тяжелых и плотных так называемых гиперонных звезд.

Ученые считают так: если быстрое сжатие сопровождается дополнительным очень сильным разогревом, то в веществе могут образоваться в больших количествах попарно частицы вещества и антивещества (частицы и античастицы). Эта смесь напоминает плазму тем, что содержит равное число частиц с противоположными свойствами, поэтому ее назвали «эпиплазма» (по-гречески «эпи» — «после»): «послеплазма», «сверхплазма».

Известно, что в обычных условиях смесь вещества и антивещества мгновенно взорвалась бы с чудовищно большим выделением энергии. Почему же не взрывается эпиплазма? От взрыва некоторое время ее удерживают очень высокая температура смеси, а также исключительно могучие силы притяжения. Тем не менее и в этих условиях эпиплазма очень неустойчива, и при несимметричном ее расширении, когда в каких-то ее частях вдруг образуется «слабинка» — недостаточно

могучие силы притяжения и температуры, — может произойти страшный взрыв.

Существует гипотеза, согласно которой примерно 10 миллиардов лет назад все вещество окружающих нас галактик было сжато до огромной плотности и находилось в нейтронном состоянии. Затем при расширении нейтронное вещество превратилось в современную, менее плотную плазму.

Согласно другой гипотезе, нейтронные звезды — результат огромных катастроф, взрывов донейтронного вещества, известных как вспышки так называемых сверхновых звезд.

Приняв во внимание современные гипотезы о существовании сверхплотных звезд, составим следующую сравнительную таблицу плотности некоторых веществ:

Плотность некоторых веществ

Вещество	Плотность, $г/см^3$	Примечание
Межгалактическая среда	10^{-30}	
Межзвездная среда	10^{-24}	
Наибольший искусственный вакуум	10^{-19}	
Воздух	0,0013	
Бальса (дерево)	0,13	
Парафин	0,9	
Вода	1,00	
Гранит	2,2	
Алюминий	2,7	
Средняя плотность Земли	5,52	
Железо	7,8	
Свинец	11,3	
Золото	19,3	
Платина	21,4	
Вещество в центре Солнца	100	
Ядерное вещество	$2 \cdot 10^{14}$	
Белые карлики	10^6—10^8	
Нейтронные звезды	10^{12} и выше	Гипотеза
Гиперонные звезды	10^{14} и выше	Гипотеза

Советский физик профессор Давид Альбертович Франк-Каменецкий полагает, что если существование нейтронного вещества и эпиплазмы подтвердится, то нейтронные звезды надо отнести к образованиям вещества в «пятом состоянии», а эпиплазму именовать «шестым состоянием» вещества.

Он предлагает признать еще и «седьмое состояние» вещества — состояние поля излучения, иначе говоря то, что часто

называют «физическим вакуумом».

Не знаю, как к этому отнесутся в будущем. Но если уж именовать особыми состояниями вещества разные его формы, имеющие какие-то резкие отличия друг от друга, то надо бы закрепить один из номеров за «веществом живых организмов». Уж где-где, а здесь отличительных свойств хоть отбавляй.

Здесь примиряются такие крайние противоречия, как стремление *любой* материи (в том числе и той, естественно, из которой состоят тела человека и животных) к «энергетическому рассеянию», к беспорядку, с одной стороны, и стремление любого живого существа как-то преобразить, упорядочить для себя природу — с другой.

И в то же время все живые существа состоят из тех же самых химических элементов, из которых состоят звезды. В телах животных не обнаружено ни одного элемента, который не был бы отмечен в спектрах звездных атмосфер. Только почему-то процентное содержание простейших химических веществ в телах животных иное, чем в атмосфере Солнца и подобных ему звезд. Отличается оно и от распределения элементов у Земли в целом (считая, что внутри нее находится, как предполагают, железоникелевое ядро).

Вот как выглядит сравнение процентных содержаний химических элементов в теле человека и млекопитающих, в атмосфере звезд и в Земле в целом:

Распределение элементов в процентах

Наименование элементов	Человек и животные (млекопитающие)	Звезды	Земля
Водород	10	81,76	—
Гелий	—	18,17	—
Кислород	65	0,03	12
Магний	—	0,02	—
Азот	3	0,01	—
Кремний	—	0,003	7
Сера	—	0,003	—
Углерод	18	0,002	—
Железо	—	0,001	67
Кальций	2	—	—
Фосфор	1	—	—
Никель	—	—	4
Все остальные	1	0,001	10

Учение о состояниях вещества далеко не завершено. Пожалуй, оно только начинает по-настоящему складываться. До сих пор нет еще полной ясности в том, что именно считать особым состоянием (считать ли, например, живое воплощение энного состояния или не считать?). Препятствует созданию учения сегодняшняя недоступность небесных масс, которые могли бы состоять из необычных для нас веществ.

Вторая трудность, впрочем, возможно, будет преодолена раньше. Как бы далеко ни заглядывал человек, но в конце концов находил искомое.

Как человеческая мысль преодолела барьер невидимого мира

Масштабные эффекты

Признаться откровенно, я никогда не мог понять, почему все книги, стремящиеся рассказать доступно о том, что такое квантовая теория, теория относительности и другие трудные главы современной физики, не начинаются с объяснения, почему эти главы трудны *для человека*. Вероятно, хорошим введением в физику был бы рассказ о том, что ее трудности — следствие того, что она изучает вещи и явления, не похожие на человека и на привычный ему мир.

В самом деле, ведь человек — только часть природы, вполне конкретный сгусток материи, имеющий свои размеры, массу, диапазон скоростей и продолжительность существования. В известном смысле человек как бы сам собой измеряет окружающую Вселенную: инструменты, которыми он производит измерения, он создал в масштабах собственного тела. Мерки, применяемые человеком, — сантиметры, метры, километры, метры в секунду, секунды или часы — это всё такие мерки, которые, каждую в отдельности, легко представить (чуть ли не пощупать) и которыми, не пользуясь слишком большими числами и слишком дробными тоже, удобно измерять тела и явления нашей практики.

Но ведь мир, как все больше выясняется, много шире человеческих масштабов. Мир простирается и по ту, и по сю стороны человеческих ощущений: и в сторону титанических (с человеческой точки зрения) вещей, и в сторону предметов и явлений невидимок (назовем их так за невероятно малые размеры, короткие сроки жизни, быстрые скорости перемещения и т. д.).

Очередной балласт, который должен сбросить со своих плеч человек, чтобы правильнее понять природу, — это балласт «антропоморфности»: навязывания Вселенной на всех ее уровнях человеческих масштабов и закономерностей нашего мира.

Не сделав этого, человек немедленно даст волю тормозящим силам умственной инерции.

Увы, во власти такой инерции находятся еще очень многие.

До сих пор, например, не в диковинку встретить человека, любящего пофилософствовать на тему о повторяемости миров на разных уровнях. Мне пришло однажды письмо, в котором автор сочувственно цитировал слова известного английского астронома XVIII–XIX веков Вильяма Гершеля об обитаемости Солнца. «Я полагаю себя достаточно авторитетным в астрономии, — гордо говорил Гершель, — чтобы считать Солнце обитаемым миром. Его

подобие остальным планетам Солнечной системы в отношении твердости, атмосферы и пересеченного характера поверхности, вращения вокруг оси, падения тяжелых тел — все это приводит к весьма вероятному предположению о том, что Солнце так же обитаемо, как и остальные планеты, и населено существами, органы которых приспособились к необычным условиям этого гигантского шара».

Ищут аналогию с земной жизнью и на другом конце масштабного спектра — в области микромира. В подобных случаях мне вспоминается знаменитое стихотворение Валерия Брюсова:

Быть может, эти электроны —
Миры, где пять материков,
Искусства, знанья, войны, троны
И память сорока веков…

Гершель был великим астрономом, а Брюсов — образованным человеком своего времени. Но заблуждался и астроном, полагавший, что за необычайно яркой атмосферой Солнца находится непрозрачное, прохладное и очень твердое небесное тело, и поэт, размышлявший о цивилизации на электроне.

«Природа не похожа на матрешек», — сказал однажды известный французский физик-коммунист Поль Ланжевен. Он

хотел выразить ту простую мысль, что переход от одного «мира» физики к другому не похож на простую смену масштабов, как это бывает при извлечении одной деревянной матрешки из другой. В физике такой переход обязательно связан с какими-то качественными изменениями. Это происходит потому, что природа многолика, и каждый ее «мир», обусловленный размерами тел или скоростями протекания процессов, имеет свое неповторимое лицо.

Представьте себе, что некая неведомая сила вдруг уменьшила вас в тысячу раз. Вам покажется, что вы попали на другую планету. Песчинки превратятся в каменные глыбы, трава — в непроходимый лес фантастических плоских деревьев с острыми вершинами, убегающими в бесконечность. Страшные, порывистые чудовища — муравьи — бросятся на вас и слопают в момент, если вы не успеете обрести свой обычный вид.

Одна и та же точка Вселенной — в пространстве и во времени — воспринимается по-разному существами, резко различающимися размерами. Одни увидят то, чего не видят другие; зато глаза первых будут закрыты на очевидное для вторых.

Возьмем другой пример. Нальем в стакан воды и перевернем его. Вода, конечно, выльется. Теперь опустим в воду стеклянную палочку и вынем ее. Что мы увидим? Несколько крупных капель одна за другой быстро скатятся и упадут, но последняя капля задержится и повиснет на палочке. Для третьего, столь же простого опыта воспользуемся пульверизатором. Струей воздуха превратим воду в тончайшую водяную пыль. Что же произойдет теперь с молекулами воды, совершенно одинаковыми с теми, что были и в первых двух случаях? Они не упадут на землю: образовавшиеся жидкие пылинки будут свободно парить в воздухе, не поддерживаемые никакими твердыми предметами.

Итак, налицо одни и те же физические тела — молекулы воды. Одни и те же силы действовали на них: силы тяжести, молекулярное сцепление, сопротивление воздушной среды (иначе говоря, сила трения воздуха). А результаты совершенно разные, потому что *соотношения* сил различались между собой. В одном случае преобладали силы тяжести, в другом — молекулярное сцепление, в третьем — сопротивление воздушной подушки. В конечном счете это привело к разным результатам.

Размер определяет круг явлений, в который попадает испытуемое тело. Хотя основные законы природы, разумеется, остаются неизменными на всех размерных уровнях, но соотношение между влияющими факторами настолько изменяется, что приходится говорить о разных «классах

взаимодействий». Мы уже не имеем права сказать, что вода во всех случаях упадет на землю, если ее оставить без сосуда. Приходится оговаривать условие ее падения: когда поперечник занимаемого ею пространства соразмерен с величиной «сантиметр», иначе говоря, когда изучаемое тело принадлежит к миру, воспринимаемому человеком непосредственно при помощи своих органов чувств.

Сейчас для этого мира придумали особое название: «макромир», от греческого слова «макро» — «большой». Сюда относят все тела, начиная с больших молекул. Тысячелетиями люди в своей практике имели дело только с ним и даже не догадывались, что существуют иные круги явлений, обусловливаемые очень сильным изменением размеров. Даже Исаак Ньютон был убежден, что обнаруженные им законы механического движения и всемирного тяготения действуют на все тела совершенно одинаково и что они главенствуют повсюду, независимо от степени малости тел. Увы, он заблуждался. Но люди узнали об этом совсем недавно, какие-нибудь пятьдесят — шестьдесят лет назад. Узнали, лишь расколов атом и убедившись, что существует мир элементарных частиц, или, как его стали называть, «микромир» (от слова «микро», что значит «очень малый»).

Итак, «масштабный эффект» проявляет себя даже в пределах макромира — мира «видимых» вещей. Но, конечно же, он неизмеримо значительнее, когда мы с помощью тонких физических приборов или умозрительно обращаем взор в недра микромира, то есть мира молекул, ионов, атомов, атомных ядер и элементарных частиц. Там властвуют силы, незаметные или слабо заметные в макромире. А такая могучая причина процессов, которую мы уважительно называем всемирным тяготением, там исчезающе ничтожна. Как выяснилось, электростатическое отталкивание между двумя электронами в $4{,}17 \cdot 10^{42}$ раз превышает гравитационное притяжение между ними! Неудивительно, что физики, изучающие атом, обычно пренебрегают силой тяготения, сбрасывают ее со счетов.

Проникновение человеческого сознания в микромир началось на стыке последних двух веков. Раздвинув створки этого мира, ученые приступили к выяснению действующих там законов. Постепенно была создана основная теория процессов микромира — квантовая механика. Примерно до середины 50-х годов XX столетия физики трижды спускались по ступенькам вглубь: сперва от больших тел к атому, потом от атома с характерным для него размером в 10^{-8} сантиметра к атомному ядру размером в 10^{-12} сантиметра, затем от атомного ядра к его составной частице

— нуклону (протону и нейтрону) с характерным размером в 10^{-13} сантиметра.

В 1955 году первая из 30 тогда известных элементарных частиц — протон — перестала считаться неделимой. Работающий в Стэнфордском университете (США) молодой физик Роберт Гофштадтер доказал экспериментально (обстреливая протоны электронами, разогнанными на линейном ускорителе), что внутри протона есть своего рода твердое ядро — «керн» — размером примерно в десять раз меньше размера всей частицы. Этот керн имеет электрическую природу, поэтому его называют иногда также «электрическим облаком», в отличие от внешнего «нуклонного облака», соответствующего размеру 10^{-13} сантиметра.

Последующие шесть лет принесли Гофштадтеру новые успехи: керн был обнаружен и в нейтронах. А в 1961 году все эти работы отмечены высшей наградой Шведской академии наук — Нобелевской премией.

Так был сделан как бы еще один — четвертый — шаг в глубь материи, в область, ограниченную размером 10^{-14} сантиметра.

Обозревая пройденные ступени, легко впасть в тот же грех примитивизма, который даже умных людей заставлял подозревать, что на Солнце и на электронах живут разумные существа. «Ага, — могут сказать иные, — дальнейший прогресс физики микрочастиц предельно ясен. За четвертой ступенькой начнется пятая — внутри керна обнаружат какую-то еще меньшую сердцевину; потом шаг шестой — находка сердцевины сердцевины керна; и так далее без конца…»

В действительности все гораздо сложнее.

Существуют определенные свидетельства тому, что

дальнейшее дробление вещества на части становится невозможным и практически и теоретически. Более глубокое «упрощение» материи если и возможно, то уже не в результате уменьшения размеров. Гениальная догадка В. И. Ленина о неисчерпаемости материи в наши дни у физиков вызывает совсем не геометрические ассоциации.

Мы не будем подробнее говорить об этом. Скажем лишь, что «масштабный эффект» может проявить себя и не при резких изменениях размеров. Эффекты теории относительности, например, проявляют себя лишь при очень высоких скоростях (приближающихся к скорости света, то есть к 300 тысячам *км/сек*), а также при очень больших массах. Размеры тел для теории относительности совершенно безразличны: ее законы применимы к электронам в той же степени, как и к звездам-гигантам.

Масштабные эффекты для тел очень маленьких размеров интересуют в первую очередь раздел современной физики, называющийся квантовой механикой.

Но прежде чем говорить о квантовой механике, нам надо поговорить о другом разделе физики: о мерах, точнее, об учении о мерах, или о *метрологии* (от греческих «метрон» — «мера» и «логос» — «слово», «мысль», «понятие»). Ведь чем тоньше мир, тем, чтобы его познать, человеку трудней его измерить. А измерять его тем более необходимо, что он далек от обычной человеческой жизни. Так легко неверно его представить («по-своему» — антропоморфно). В тонких областях материи измерения играют особенно большую роль.

Три бесконечности учения о мерах

Старинная арабская миля равна 4000 локтей, локоть — 8 кулакам, кулак — 4 пальцам, палец — 6 ячменным зернам, толщина ячменного зерна — ушестеренной толщине волоса с ослиной морды. Измерения показывают, что толщина волоса с ослиной морды равна примерно 0,4 *мм.*

Какими приблизительными мерками пользовались люди в прошлые времена! И видно, особых неудобств от этого не испытывали.

Технический прогресс и проникновение науки в прежде недоступные области природы потребовали увеличить точность измерений. Так как к тому же возникла необходимость устранить путаницу при переводе мер, принятых в одной части света, в меры, принятые в другой части света (и тем, в частности, положить конец хаосу в международной торговле, вызываемому использованием различных систем мер), то поступили так: в 1875 году созвали международную конференцию по введению единых мер и весов. На конференции присутствовали представители тридцати различных стран, в том числе — представители России.

Эталоном массы приняли, как мы уже говорили, килограмм, а за эталон длины договорились принять метр — одну сорокамиллионную часть парижского меридиана. Изготовили высоконадежный платиново-иридиевый сплав, понаделали из него брусков и на каждом штрихами отложили метр. Потом по жребию разыграли эти ценные бруски, кому какой достанется. Россия получила копию метра № 28.

Шло время, двигались вперед наука, техника и экономика, и вот ученые пришли к выводу, что принятый ими эталон длины недостаточно точен. В 1960 году на 11 генеральной конференции по мерам и весам было принято решение определять меры длины по оранжевой линии изотопа (разновидности) криптона.

В СССР и других странах появился новый эталон длины — «световой метр», — куда более точный, чем метр из драгоценного металла. Точность измерений длины повысилась в десять раз.

Уже из этого примера видна «первая бесконечность», к которой стремится метрология — наука о мерах: *бесконечное увеличение точности измерений.*

«Вторая бесконечность» метрологии — это *возрастание значения точных измерений для людей*.

Сотрудники научно-исследовательского института метрологии имени Д. И. Менделеева в Ленинграде убеждены, что их наука — самая необходимая людям, что без нее человечество

станет беспомощным, как малое дитя. Понять ленинградцев можно. Из-за отсутствия точных измерений в машины, сооружения, механизмы закладываются лишние материалы, не оправданные соображениями прочности, бесполезно тратятся многие тонны дорогих материалов.

Ленинградцы подсчитали, что внедрение новейших методов измерения длины, разработанных в их институте, даст только на предприятиях страны, создающих точные станки, 26 миллионов рублей годовой экономии.

«Третья бесконечность», к которой будет, возможно, вечно тянуться метрология, — это *безграничное увеличение перечня измеряемых величин.*

В 1970 году на Земле насчитывалось примерно 250 эталонов. Это значит, что столько к этому времени имелось единиц меры, сравнивая с которой неизвестную величину, эту, последнюю, можно измерять, превращать в известную.

А разве количество таких единиц меры может когда-нибудь установиться окончательно?

Только сравнительно недавно люди научились объективно оценивать цвет. Не за горами время, когда нам придется (и мы этому научимся) измерять вкусы, запахи и многое, многое другое.

В мире квантов

26 февраля 1888 года в лаборатории Московского университета произошло событие большой важности: профессор Александр Григорьевич Столетов направил луч света на металлическую пластинку, которой оканчивалась незамкнутая электрическая цепь, и вдруг с изумлением увидел, что цепь замкнулась: прибор показал наличие тока. Свет породил электричество!

Это было загадочно и непонятно. Какая существует связь между двумя столь разнородными, с точки зрения науки того времени, областями явлений, как оптика и электричество? Почему возникает ток?

Тогда на этот вопрос ни один человек в мире не мог бы дать удовлетворительного ответа: никто не знал, что электрический ток есть эффект движения электронов (сами электроны были открыты только после смерти Столетова), а если бы это и знали, то как объяснили бы, что свет может выбивать электроны?

Выбить нечто из недр вещества можно лишь, если обстрелять его какими-то частицами-«пульками», достаточно мелкими, чтобы проникнуть в плотную среду, и достаточно энергичными, чтобы произвести там изменения. Правда, если электроны находятся в избытке на поверхности металлической пластинки, то выбить их может и падающая на эту поверхность *волна*. Но это представление совершенно несовместимо с *количественными* законами открытого Столетовым явления, и, значит, волной нельзя объяснить столетовского эффекта.

Когда-то свет считали волнами в чистом виде. Полагали, что свет есть волнообразное явление, протекающее в некой среде — эфире. Физический же объект, обладающий свойствами волны, как думали прежде, не может одновременно обладать и корпускулярными, иначе говоря — вещественными, свойствами, свойствами частиц вещества. Такие свойства, как говорят ученые, комплементарны, то есть дополнительны друг к другу и взаимно исключают одно другое. В мире привычных масштабов летящий снаряд — только тело, корпускула, и не может быть волной; производимый им в воздухе процесс — только волна, которая, наоборот, не может быть корпускулой. Поэтому по аналогии считали, что и свет, бесспорно обладая волновыми свойствами, не мог одновременно состоять из частиц.

Но почему же все-таки в опыте Столетова появлялся ток?

17 мая 1899 года другой профессор Московского университета, Петр Николаевич Лебедев, сделал сообщение в

Лозанне (Швейцария) о результатах своих первых исследований давления света. Тонкими и изящными опытами он доказал существование светового давления, теоретически предсказанного англичанином Джемсом Максвеллом, и даже вычислил его величину, несмотря на ее ничтожно малое значение: 0,00038 грамма на квадратный метр черной поверхности. Этим он наглядно доказал материальность света.

Быть может, открытие Лебедева объясняло загадку Столетова? Нет, давление могут производить и волны; поэтому наличие его еще не давало убедительного доказательства существования у света корпускулярных свойств.

Ответ на загадку пришел чуть позднее — в 1900 году — в связи с работами немецкого физика Макса Планка. Он принял, что энергия, подобно веществу, не является непрерывной, а состоит как бы из «атомов». Но энергия не существует независимо от материи, она лишь свойство материи (точнее, мера свойства материи). Следовательно, если есть «атомы энергии», то в каком-то смысле есть и атомы особой, невещественной — «полевой» — материи, образцом которой является свет.

Конечно, все это было в высшей степени удивительно.

«Атомы энергии» и сейчас звучит для многих необычно. Понятно — атом вещества. Понятно даже — атом электричества. Ведь и в этом случае атом означает что-то «осязаемое», заполняющее пространство. Но как представить себе «атом энергии»?

Занимаясь изучением законов теплового излучения черного тела, Планк получил формулу для объемной плотности электромагнитной энергии. Эта формула давала результаты, прекрасно совпадающие с опытом, однако она не только не вытекала из законов классической физики, но и находилась с ними в резком противоречии. Дело в том, что она получалась только в случае, если допустить, что световая энергия излучается или поглощается кратно некоторому наименьшему ее количеству, то есть состоит из порций, «атомов», которые Планк назвал квантами («квант» означает «порция»).

Величина этой энергии E изменяется в зависимости от частоты колебаний ω («ни») и связана с ней простым отношением:

$$E = h\omega,$$

где коэффициент пропорциональности $h = 6{,}62\ 10^{-27}$ *эрг/сек.*

Коэффициент пропорциональности h получил название «постоянной Планка».

Эта простая формула — одна из самых фундаментальных формул современной физики.

Другая фундаментальная формула современной физики — это формула Альберта Эйнштейна, полученная им в 1905 году. С ее помощью можно рассчитать полное содержание энергии E в теле, и выглядит она так:

$$E = mc^2,$$

где c — скорость света, равная примерно 300 тысячам километров в секунду, или $3{\cdot}10^{10}$ *см/сек,* а m — масса движущегося тела. Если масса выражается в граммах, а скорость света в *см/сек*, то полная энергия тела получится в эргах.

Формулы Планка и Эйнштейна — это символы всего современного естествознания. Они настолько тесно связаны с духом и философией новой физики, так часто встречаются в ее расчетах и в то же время так просты, что их теперь знает (по крайней мере, по написанию) любой интеллигентный человек, даже далеко стоящий от физики и математики.

Открытие «атомов энергии» расширило понятие материи. Возникло представление о двух формах материи: вещественной и лучистой, как говорили раньше, или материи поля, как говорят теперь.

А какие бывают по величине кванты энергии? Интересно

сравнить их значение с теми количествами энергии, с которыми имеет дело обычная человеческая практика (см. «Путаница и разъяснение понятий» в начале третьей главы).

Обратимся для примера к волнам видимого света. Это электромагнитные колебания с диапазоном частоты от $4{,}3 \cdot 10^{14}$ колебаний в секунду (для красного света) до $7 \cdot 10^{14}$ колебаний в секунду (для фиолетового света). Если помножить указанные значения на постоянную Планка, то получатся значения «атомов энергии» — квантов, выраженные в эргах для обеих границ видимого спектра: $28{,}46 \cdot 10^{-13}$ и $46{,}34 \cdot 10^{-13}$ эрг.

Десятитриллионные доли эрга! Из таких «атомов» складывается энергия, которую несут в себе лучи красного и фиолетового света. При этом фиолетовый свет состоит из квантов с энергией почти вдвое большей, чем кванты красного света. Чем выше частота колебаний, тем больше энергия квантов, тем большую работу они способны произвести.

В формуле Планка не отражена природа рассматриваемого физического движения. Это значит, что формулу можно считать применимой для любого движения, так как атомарное строение присуще всякой форме колебательной энергии, например и звуковой. Так, есть, например, и «кванты» звука, которые приобретают в наши дни особое практическое значение в связи с распространением ультразвуковой техники.

Вернемся к свету. Энергия света имеет атомарное строение. Но несколько позже Эйнштейн пришел к выводу, что атомарное строение присуще и другой важнейшей характеристике света — его импульсу. Это дало новый повод говорить, что и *сам свет* имеет атомарное строение, состоит из частиц, которые были названы *фотонами*. (По аналогии с фотонами «частицы» звука стали называть *фононами*.)

Пользуясь формулой Эйнштейна, можно вычислить, что выбранные нами выше фотоны света обладают массами $3{,}16 \cdot 10^{-33}$ грамма и $5{,}15 \cdot 10^{-33}$ грамма. Как видим, числовые значения, получающиеся при этом, более чем ничтожны, если подходить к ним с точки зрения обычных для нас масштабов.

Теперь в опыте Столетова все становится понятным. Световые «пульки» выбивают из вещества отрицательно заряженной пластинки электроны, последние тотчас же начинают притягиваться положительно заряженной пластинкой, в результате чего в схеме возникает электрический ток. Это явление было названо фотоэффектом.

В современной жизни фотоэффект находит себе большое практическое применение. Многие, быть может не подозревая об этом, встречаются с ним, опуская монетку в контрольный

турникет метро; им пользуются в автоматических установках, предупреждающих о пожарах; экспонометры фотолюбителей, телевизионные камеры, сторожевая сигнализация — вот несколько типичных применений фотоэффекта, обусловленного квантовой структурой света.

Итак, свет состоит из мельчайших частиц — фотонов. Все же по отношению к фотону термин «частица» применим лишь с весьма существенными оговорками. Можно сказать приблизительно так: распространяясь, свет действует как волна, излучаясь или поглощаясь, — как частица. Частица ограничена в пространстве, ее поперечник можно измерить, скажем, в миллиметрах. А фотон никакого поперечника не имеет. Обладая некоторыми свойствами частицы, свет в то же время является и волнами, простирающимися в бесконечность.

Есть и другие отличия фотона от «обычной» частицы. Фотон существует лишь в движении, причем всегда с одной и той же скоростью, а именно: со скоростью света. Частица же вещества бывает и в покое и в движении с различными скоростями, но никогда не достигает скорости света. В связи с этим фотон, скорость которого неизменна, обладает и неизменной массой; масса же частицы вещества возрастает от некоторой минимальной «массы покоя» (которой не обладает фотон) до неограниченно большой величины при приближении скорости частицы к скорости света.

Если масса электрона в состоянии покоя и при относительно небольших скоростях составляет $9{,}1 \cdot 10^{-28}$ грамма, то с достижением 0,998 скорости света она увеличивается примерно в 16 раз, при дальнейшем же приближении к скорости света масса возрастает неограниченно.

«Почему, — задал себе в начале 20-х годов вопрос французский физик Луи де Бройль, — если „световой материи“ присущи свойства корпускулярности, мы не вправе ожидать и обратного: что „вещественной материи“ присущи волновые свойства? Почему бы не мог существовать закон, единый для всякого вообще материального образования, неважно вещественного или светового?»

Если это так, то всякой частице вещества должно соответствовать определенное периодическое, волновое явление, зависящее от массы частицы и от скорости ее движения.

Гипотеза де Бройля была подтверждена опытами американских физиков К. Дж. Дэвиссона и Л. Джермера, открывших в 1927 году явление дифракции электронов. Дифракция, то есть загибание лучей после прохождения ими узких щелей или мимо малых препятствий, — типично волновое

явление. Оно свойственно только волнам. И вот оказалось, что и пучок электронов, двигающихся с достаточно большими скоростями, если пропускать его через очень тонкие (порядка одной миллионной сантиметра) металлические пластинки, также обнаруживает дифракцию — аналогично рентгеновым лучам. Впоследствии дифракция была обнаружена и у более тяжелых частиц — нейтронов, атомов и молекул.

Именно с 1927 года, то есть с года открытия явления дифракции электронов, начала быстро развиваться совершенно новая физическая теория — теория движений очень маленьких частиц вещества, получившая название «квантовая механика». С этого времени два теоретических представления — о квантовых чертах оптических явлений (корпускулярная теория «световой материи») и о волновых чертах поведения частиц вещества (волновая теория «вещественной материи») слились в одно представление о корпускулярно-волновой «двойственности», или, как говорят еще, дуализме как света, так и вещества.

Когда мы бросаем мяч, то видим, как он описывает вполне определенную кривую — параболу, прежде чем упадет на землю. Подобная кривая — след летящего мяча — называется траекторией его движения. Всякий движущийся предмет, наблюдаемый нами, обязательно имеет свою траекторию.

Не то получается, если речь идет о движении объекта микромира, подчиненного законам квантовой механики. Оказывается, к явлениям микромира понятие траектории неприменимо: элементарные частицы — электроны, протоны и другие — в своем движении не имеют траектории в обычном смысле слова.

Но как себе представить, скажем, электрон, движущийся без траектории? Представить это действительно очень трудно, но зато можно понять, почему трудно.

Ведь траектория — это свойство только корпускулы, тела. Волна, простираясь в бесконечность и не являясь телом, не обладает этим свойством. Электрон же (как и любая другая элементарная частица) обладает одновременно свойствами и корпускулярными и волновыми. В микромире такие дополнительные свойства, как корпускулярные и волновые, прекрасно сосуществуют.

Обратимся снова к дифракционному опыту, но будем пропускать через тонкую пластинку не поток электронов, а отдельные электроны один за другим. И мы получим нечто в высшей степени интересное. Электроны будут попадать на экран, установленный за пластинкой, как частицы (о чем будут свидетельствовать отдельные вспышки в различных местах

экрана), а располагаться на экране они будут по закономерностям распространения волны: гуще там, где интенсивнее волна, реже там, где эта интенсивность меньше.

Физический смысл корпускулярно-волнового дуализма заключается в том, что интенсивность волны в любой точке оказывается пропорциональной *вероятности* найти частицу в этой точке.

Отсюда еще один парадокс, разрушающий наше извечное представление, что дважды два всегда четыре. Квантовая механика говорит, что дважды два может оказаться нулем, а может и восьмеркой.

Направим пучок электронов сквозь две узкие щели и отрегулируем его так, чтобы, когда одна щель закрыта, через другую попадало бы в некоторое место стоящего сзади экрана по 2 электрона каждую секунду. А теперь откроем обе щели. Что получится? 4 электрона в секунду? Не тут-то было. Число электронов будет зависеть от того, как было выбрано место на экране. В одном случае вы получите, скажем, 6 электронов, в другом — 8, а в третьем — ничего, нуль!

Сейчас физики работают над созданием новой — квантовой — теории поля. Элементарные частицы здесь осмысливаются как кванты поля. В этом названии всего удачнее раскрываются двойственные качества микрочастицы. «Поле» говорит о сплошности, о среде; «квантованность», или «порционность», — об индивидуальности частицы.

Связанные же между собой органическим единством, оба неотъемлемых качества микрочастицы по-новому, еще глубже раскрывают физический смысл целостности материального мира.

Слов нет, что все это не сразу укладывается в сознании. Кажется, что нарушается «здравый смысл». Но тут уместно вспомнить слова А. Эйнштейна по поводу последнего:

«„Здравый смысл“ — это те предрассудки, которые складываются в возрасте до восемнадцати лет».

Из анализа природы «волночастицы» вытекает одно чрезвычайно важное и интересное следствие.

Когда мы имеем дело с объектом классической механики — «обычной» частицей, мы можем, по меньшей мере теоретически, с абсолютной точностью задать вместе и величины, характеризующие местоположение частицы, то есть ее координаты, и величины, характеризующие быстроту изменения местоположения частицы, — составляющие ее импульса.

Совсем иное в квантовой механике, где объектом является не крупное тело, изображаемое схематически как частица, а очень маленькая «волночастица». В этом случае, оказывается, нельзя с

абсолютной точностью задать вместе и координаты частицы и ее импульсы. Иначе говоря, не существует состояний частицы, в которых сразу имели бы определенные значения и координаты и импульсы. Всегда для частицы есть неопределенности: и в координатах (эта неопределенность обозначается символом Δx, читается «дельта икс») и в импульсах (а эта неопределенность обозначается Δp — «дельта пэ»).

Между обеими неопределенностями есть связь. Оказывается, произведение этих двух неопределенностей равно, грубо говоря, постоянной Планка: $\Delta x \cdot \Delta p = h$.

Можно с абсолютной точностью задать что-нибудь одно: или координаты частицы, или ее импульс. Но тогда неопределенность другого, как видно из соотношения, станет бесконечно большой.

Это и есть вызвавшее много шуму, а еще больше неправильных философских толкований соотношение, установленное немецким физиком Вернером Гейзенбергом в 1927 году и получившее название «соотношение неопределенностей».

Порой в повседневной жизни мы сознательно создаем неопределенности. Например, при игре в лапту бегущий, чтобы увернуться от мяча, бежит с различной скоростью, делает неожиданные скачки и т. д. Неопределенность в его импульсе и положении, естественно, мешает другому игроку правильно прицелиться.

Принцип неопределенности позволяет понять тайну многих загадочных явлений в микромире. Почему, например, при температуре абсолютного нуля частицы все же продолжают колебаться? Да потому, что если бы они остановились, их положения в пространстве и их скорости были бы совершенно определенны, а это противоречит соотношению неопределенностей. Почему, как вы думаете, отрицательно заряженные электроны внешних оболочек атомов не падают под влиянием притяжения на положительно заряженное ядро? Потому, что и в этом случае был бы нарушен принцип неопределенности: электроны оказались бы в ядре, неопределенность Δx стала бы близкой к нулю (то есть она бы почти исчезла, восторжествовала бы определенность). Из соотношения Гейзенберга видно, что при этом стал бы очень большим импульс частицы. Это значит, что она приобрела бы большую кинетическую энергию и «выпрыгнула» бы из ядра.

«Немудрено, — говорит Фейнман, — что ядро идет на соглашение с электронами: они оставляют себе какое-то место для этой неопределенности и затем колеблются с некоторым наименьшим запасом движения, лишь бы не нарушить этого правила» (соотношения неопределенности. — *В. К.*).

Открытие двойственности элементарных частиц и соотношения неопределенности, характеризующего их «поведение», произвело огромное впечатление. Ничего подобного не встречалось в повседневной практике. С изумлением увидели люди в микромире материальные тела, ведущие себя своенравно, подчиняющиеся неведомым до тех пор законам. Казалось, здесь были не простейшие частицы материи, а какие-то очень маленькие «живые существа».

Все было до того удивительно и непонятно, что нашлись люди (в том числе ряд философов и публицистов), которые стали уверять, что электроны «имеют душу», «свободу воли», что в них есть нечто, «роднящее» их с живыми организмами, и т. д.

Конечно, это сущая чепуха. Жизнь — свойство самой высокоорганизованной материи, здесь же речь идет о простейших элементах.

Но какой-то иной, неизвестный классической физике вид причинности, определяющий события в микромире, бесспорно существует. Иначе говоря, изучение явлений в микромире привело к открытию существования двух форм причинности: *динамической*, которой управляются движения крупных тел, и *статистической*, управляющей движением элементарных частиц.

Применение классической механики к конкретным задачам построено на предположении, что мы знаем все о силах, прилагаемых к рассматриваемой нами системе тел. Только в этом случае мы можем предсказать поведение системы. Хороший пример — предсказание астрономами расположения планет в определенный будущий момент времени. Но вот представьте себе, что из бездонных глубин космоса в Солнечную систему ворвется какое-то новое небесное тело. Оно тотчас нарушит всю тысячелетиями установленную гармонию и приведет систему к неожиданному, непредсказанному состоянию.

Как видно из примера, первым условием возможности предсказания события, подчиняющегося динамической причинности, является отсутствие непредусмотренных взаимодействий рассматриваемой системы с другими.

Но в идеальном смысле эти условия невыполнимы: никогда нельзя предусмотреть *всех* воздействий извне на изучаемую систему. Может быть, здесь и лежит объяснение «своенравия» микрочастиц?

Действительно, когда мы изучаем большие тела, то должны пренебречь малыми и поэтому практически несущественными, непредусмотренными воздействиями. Если мы сумели предусмотреть все практически существенные воздействия, то с практически достаточной точностью будет работать

динамическая причинность; если же она не работает, будем искать существенные воздействия, которых мы пока еще не сумели предусмотреть.

Применим эти рассуждения к микромиру. В мире *очень малых* частиц существенных воздействий гораздо больше, и поэтому *гораздо больший* риск не суметь их все предусмотреть. Отсюда и «своенравие»: просто мы не всё еще знаем об условиях, в которых находится рассматриваемая микросистема. Поэтому и не работает динамическая причинность, поэтому и приходится пользоваться причинностью статистической.

Такая — или очень похожая — точка зрения на «своенравие» микрочастиц действительно существует; ее часто называют точкой зрения «скрытых параметров» («скрытые параметры» — это величины, характеризующие в условиях то, чего мы еще не знаем и что существенно). Однако эту точку зрения разделяют очень немногие физики. Подавляющее большинство их придерживается другой точки зрения, согласна которой статистическая причинность управляет явлениями в микромире не потому, что мы еще не открыли «скрытых параметров», а потому, что такова объективная закономерность микромира. И эта статистическая причинность нисколько не хуже динамической — это совсем не «знание второго сорта». Просто микромир так устроен, что в нем основная роль принадлежит статистической причинности.

Не противоречивы ли эти слова «статистическая причинность»? Вспомним дифракционный эксперимент: согласно квантовой механике нельзя предсказать, в каком месте экрана окажется каждый данный электрон. Где же здесь причинность?

Если бы квантовая механика не давала возможности *ничего* предсказать относительно одного электрона, то действительно в этой теории не было бы места причинности. Плохи были бы дела такой теории. Но на самом деле ведь все совсем не так: квантовая механика позволяет делать *совершенно точные* предсказания. Так, в случае дифракционного эксперимента она позволяет совершенно точно предсказать пусть не значение координат электрона на экране, а *вероятность* этого значения. Такой возможности оказывается *совершенно достаточно* для того, чтобы теоретически объяснять известные явления и предсказывать новые. Чем же предсказание вероятности значения какой-либо физической величины хуже предсказания самого этого значения!

Из непонимания принципиального различия между большими телами, изучаемыми классической механикой, и микрочастицами среди зарубежных физиков и философов возникло немало идеалистических толкований и соотношения

неопределенностей и всех вообще законов квантовой механики.

Очень распространилось, например, убеждение, что явления микромира принципиально непознаваемы, что человек никогда не раскроет их до конца. Почему? «Да потому, — отвечают эти люди, — что в каждом звене познавательной цепочки „что — чем — кто“, или „микрочастица — прибор — наблюдатель“, таится то или иное принципиально непреодолимое препятствие».

Что это необоснованно и неверно и что в действительности квантовомеханические явления так же объективны и закономерны, а следовательно, и познаваемы, — нетрудно доказать.

В том, что двойственность микрочастицы («что») не несет в себе ничего «чудесного», мы уже убедились. Не является непреодолимым препятствием для познания микромира (как считают идеалисты) и то обстоятельство, что когда мы со своими приборами («чем») вторгаемся в микромир, чтобы узнать о нем что-то, эти приборы сами искажают микроявления и мешают нам их узнать. Ведь когда мы измеряем температуру воды при помощи термометра, мы тоже почти всегда при этом немножко изменяем эту температуру за счет разницы между температурами воды и термометра. Однако, зная законы тепловых явлений, мы могли бы из фактически полученных результатов исключить помехи и получить абсолютно точные результаты, если бы это нам понадобилось.

Правда, в микромире есть специфика, обусловленная тем обстоятельством, что часть измерительного прибора нельзя сделать очень малой по сравнению с изучаемой системой.

Не будем пытаться обсуждать здесь важных следствий, вытекающих из этой специфики. Скажем только одно: принципиально непознаваемыми явления микромира от этого не делаются.

Не помешает нам когда-нибудь постигнуть тайны микромира и несовершенство наших органов чувств («кто»).

Во-первых, «наблюдателем» может быть и не человек, а, например, фотопластинка, флюоресцирующий экран и т. п. Во-вторых, и наши органы чувств не так уж несовершенны. В 1933 году советский физик Сергей Иванович Вавилов проделал интересный опыт, который позволил увидеть если не отдельные фотоны, то, во всяком случае, столь малые их группы (до 5–7 фотонов), что и это убедительно говорит в пользу прерывного строения света.

Опыт С. И. Вавилова не только наглядно показал прерывистое строение света, но и свидетельствовал о высоких визуально-воспринимательных способностях человека.

Все это говорит о том, что и в явлениях микромира действуют материалистические причинные законы, что и мир квантовомеханических явлений существует объективно, независимо ни от приборов, при помощи которых его исследуют, ни от сознания человека, пользующегося этими приборами.

Мир квантовомеханических явлений познаваем. И в этом мире в действительности нет никаких фантастических чудес.

С. И. Вавилов и предвидение открытий

Многие физические (да и не одни физические) открытия у нас в стране обязаны своим возникновением С. И. Вавилову, даже если он и не участвовал в них непосредственно.

Сергей Иванович Вавилов… Имя хорошо известное. Есть улицы, носящие это имя. Институты. Корабли. Выпускались марки с портретом С. И. Вавилова. Это имя встречается в учебниках по физике. Ученые да и большинство образованных людей вообще знают, что Вавилов возглавлял Академию наук СССР — был ее президентом. Причем в особо ответственное время — с 1945 по 1951 год, — когда не только залечивались раны, нанесенные стране, ее народному хозяйству второй мировой войной, но и решались новые научные и технические задачи, поставленные жизнью.

С. И. Вавилов занимался и другими важными делами: преподавал в ведущих вузах, создавал не только научные труды, но и популярные книги, был главным редактором Большой советской энциклопедии, вел активную общественную работу.

Говорят, что человек и обстановка, в которой он живет, похожи друг на друга. Если это правда, то и по предметам обстановки можно смутно угадать, каким был человек, живший в их окружении.

Попробуем сделать это, заглянув воображением в домашнюю библиотеку С. И. Вавилова.

Книг в ней не так уж много, но какой удивительный их подбор! Античная и новейшая классика, философия и естественные науки, русские, английские, немецкие, итальянские, французские книги стоят рядом. Вавилов читал и перечитывал заново почти всех авторов на их родных языках: римлянина Лукреция и англичанина Фарадея, американца Майкельсона и голландца Гюйгенса, русских ученых двух столетий — Ломоносова, Софью Ковалевскую, Попова, Лебедева, Крылова…

Но чаще всего Вавилов обращался к томику «Фауста». Поля исписаны комментариями и критическими замечаниями. Многие не уместились да полях, и Вавилов продолжал их в двух тетрадочках, переплетенных с книгой.

Кажется, что особенного в любви С. И. Вавилова к «Фаусту»? Да все культурные люди любят эту книгу! И многие воображают себя Фаустами. Как понимают это. Иной ученый, пожалуй, и обидится, если его не назвать «фаустовским человеком»: ему покажется, что хотят сказать, что он не ищущий, не дерзкий, не пылко жаждущий познания.

От простоты такого объяснения не остается, однако, и следа, когда мы узнаем, как относился Вавилов к главному герою бессмертного произведения. Оказывается, он его осуждал. Он осуждал Фауста, а о его подручном — Вагнере — отзывался с теплотой, считал его чуть ли не образцом ученого.

Что же привлекало С. И. Вавилова в Вагнере? Оказывается, трудолюбие Вагнера и его любовь к «источникам», то есть к ученым и научным идеям прошлого. Вавилов мог бы сказать и о себе, как говорил у Гёте подручный Фауста:

Моя отрада — мысленный полет
По книгам, со страницы на страницу…
Я знаю много, погружен в занятья,
Но знать я все хотел бы без изъятья.

С. И. Вавилов родился в 1891 году в Москве и, видимо, от своих родных унаследовал привычки и любовь к труду. Его отец прошел удивительный путь от мальчика на побегушках до управляющего огромной Трехгорной мануфактурой. А мать — главная хозяйка дома, простая и строгая женщина — была в то же время и первой слугой в доме. В семье Вавиловых привыкли относиться с уважением ко всякому труду. Неудивительно, что таким же трудолюбивым, как Сергей Иванович, вырос и его брат — Николай Иванович, впоследствии тоже академик, один из выдающихся биологов мира.

В 1914 году С. И. Вавилов окончил с отличием Московский университет, а после фронта, с начала 1918 года, сразу стал работать в Москве в Физическом институте, возглавляемом академиком П. П. Лазаревым.

Первые же достижения С. И. Вавилова были отмечены на конференции в Берлине в 1926 году, на «Олимпе» (в «обители богов») тогдашней физики. В присутствии Вавилова его работы расхвалили такие крупные физики, как Эйнштейн, Планк, Нернст, Лауэ и др.

Постепенно в С. И. Вавилове вырабатывалось убеждение, что настоящий ученый — это тот, в ком есть одновременно и Фауст и Вагнер, кто умеет сочетать в себе полет мысли и страсть Фауста с трезвым реализмом, даже иногда с «ремесленничеством» (то есть умением делать все своими руками) Вагнера.

Сейчас много говорят о предвидении будущего, в частности — будущих открытий. С. И. Вавилова можно смело считать одним из основоположников новой науки «футурологии» (от латинского «футурум» — «будущее»).

Выдающийся советский физик — один из близких соратников

Вавилова — академик И. М. Франк, писал: «Во главу угла Вавилов ставил выяснение физической сущности явлений, исследование их механизма, и полагал, что открытия должны возникать именно на этом пути, хотя и могут быть неожиданными».

С. И. Вавилов умер в 1951 году, не только сделав сам много открытий, но и подготовив почву *для научного планирования новых открытий* (как президент Академии наук).

Вся наша послевоенная научная действительность — подтверждение правильности вавиловского подхода к *подготовке* открытий.

Мы не научились бы строить атомных электростанций, не полетели бы в космос, не сделали бы больших открытий в астрономии, математике, электронике, если б не научились по-вавиловски планировать науку.

В этом — главным образом в этом — заслуга Сергея Ивановича Вавилова — *настоящего* «фаустовского человека». Заслуга перед своей страной и перед всей наукой.

Рубиновая молния

Какое огромное практическое применение находят себе «невидимые» кванты и какие грандиозные перспективы они открывают перед человечеством, можно показать на примере одного из самых больших достижений современной науки и техники — квантовых генераторов и усилителей.

Вдохновенный исследователь света Сергей Иванович Вавилов не скрывал своего восхищения той областью оптики, которая имеет дело с предельно малыми световыми потоками и изучает процессы, протекающие в ничтожные отрезки времени. Он назвал эту область микрооптикой и показал, что она существенно отличается от макрооптики — оптики значительных световых мощностей, длительных времен наблюдения и больших по размерам источников излучения.

«За макрооптикой, — писал он в своей последней большой работе „Микроструктура света“, — скрывается микрооптика, отличающаяся от первой в некоторых отношениях так же, как термодинамическое учение о веществе отличается от его молекулярной теории».

Вавилов ожидал от нового раздела оптики большой практической отдачи. Эти ожидания сбылись, особенно на тех направлениях, где микрооптика вступила в союз с другими науками или с техникой. Блестящий пример — успехи того детища квантовой механики (теоретической основы микрооптики) и радиотехники, которое в последние годы чаще всего называют квантовой радиотехникой. Эта новая наука позволила создать поистине чудесный физический прибор. У нас он называется, как мы сказали, обычно квантовым генератором и усилителем, а в странах Запада — «мазером», по начальным буквам английских слов: «microwave amplification by stimulated emission of radiation» — усиление очень коротких волн (подразумеваются электромагнитные волны) путем вынужденного излучения. Говорят также часто «лазер» или «оптический мазер», имея в виду только световые электромагнитные волны («light amplification by stimulated emission of radiation»).

Появились первые квантовые генераторы недавно. Однако уже стало чуть ли не традицией начинать рассказ о них с эпизодов из фантастического романа А. Н. Толстого «Гиперболоид инженера Гарина». Герой этого романа уничтожает бронированные корабли при помощи чрезвычайно тонкого, нерасходящегося луча света невероятной мощности. Плотность энергии в луче настолько велика, что корабли на расстоянии

нескольких километров разрезаются светом с такой же легкостью, как режется горячим ножом ломтик масла. Сославшись на роман Толстого, обычно добавляют, что современные квантовые генераторы и усилители в некотором смысле напоминают «гиперболоид инженера Гарина»: они также дают остронаправленный пучок интенсивного света, способный перенести в пространство огромную энергию.

Правда, мощность реального пучка много меньше той, что показывается в романе. Наибольший разрушительный эффект, который удается сейчас получить, — это пробить на небольшом расстоянии от квантового генератора пакет из десяти бритвенных лезвий. Но если лабораторный прибор уже сегодня способен вызвать заметный разрушительный эффект, то почему бы не допустить, что возможности техники и науки завтрашнего дня позволят специалистам послать в пространство луч такой же интенсивности, как в произведении Толстого? И все же есть существенные обстоятельства, говорящие против аналогии.

Писатель имел в виду концентрацию в пространстве обычных световых волн, испускаемых горячим источником. Но из таких лучей, как показал профессор Г. Г. Слюсарев, принципиально невозможно создать пучок, способный произвести существенное разрушающее действие: пучок обязательно будет размазан в пространстве. Это качественное обстоятельство. Есть и количественное.

Простой расчет показывает, что для того чтобы обычным лучом света (как у Толстого) проколоть такую же пластинку, какую пробивает мазер, температура источника должна быть доведена до 10 миллиардов градусов. А ведь это в полтора миллиона раз горячее Солнца!

Какое же бессчетное количество солнц должно быть сконцентрировано в «гиперболоиде», чтобы, собрав их лучи, разреза́ть настоящие корабли!

Как выясняется, создавать высокие плотности лучистой энергии в пространстве можно, только не средствами макрооптики, как в романе А. Н. Толстого, а средствами микрооптики, в возможности которой так верил С. И. Вавилов.

Если к мазеру подходить как к мирному орудию, здесь ясно вырисовываются заманчивые перспективы. Самые невероятные на первый взгляд идеи перестают казаться несбыточными, как только выясняется, что для их реализации можно применить устройства квантовой радиофизики.

Вот примеры.

В 1958 году американцам удалось принять отраженный сигнал радиолокатора, посланный к Венере на волне длиной 3

сантиметра. Немного времени спустя такой опыт и еще успешнее — с более мощным сигналом — был проведен советскими учеными.

Чтобы ясно представить себе значение этого события, надо вспомнить одно соотношение. Оно гласит, что плотность энергии отраженного луча, принимаемого локатором, убывает по сравнению с плотностью энергии первоначального луча пропорционально четвертой степени расстояния от цели. Шофер, читающий письмо при отраженном от стены свете фар своей машины, вряд ли разглядит хотя бы букву, если отъедет от стены вдвое дальше, чем вначале: в кабине станет в 16 раз темнее.

Применив это соотношение для вычисления мощности луча, вернувшегося на Землю после отражения от Венеры, получим потрясающе малую величину. По подсчетам зарубежных авторов, относящимся к американскому опыту, отраженный от Венеры космический радиосигнал попал в приемное устройство, имея мощность всего лишь в одну миллиардную часть миллиардной доли одной миллиардной ватта (в числах это выражается единицей, деленной на единицу с двадцатью семью нулями).

И тем не менее сигнал был принят! Его усилил, сделал явственным квантовый усилитель, работающий в радиодиапазоне.

Позднее с помощью аналогичного усилителя успешно принимались сигналы с космических ракет, удалившихся от Земли на многие миллионы километров.

Наряду с мазерами, радиоволновыми генераторами и усилителями все активнее включаются в человеческую жизнь, становятся надежными помощниками специалистов и оптические квантовые генераторы и усилители — лазеры.

Очень скоро выяснились их мирные возможности. Например, во Франции они нашли применение в глазной хирургии для прижигания кровоизлияний в сетчатой оболочке глаза. Такая операция длится всего несколько микросекунд вместо одной без малого секунды, как раньше. Прежний срок являлся слишком большим, так как при этом нагревались и соседние, здоровые части сетчатки.

В оптических генераторах длины используемых электромагнитных волн сократились с сантиметров до десятитысячных долей миллиметра, и «радиосигнал», предназначенный для усиления, засветился: он перешел из радиодиапазона в область видимого света.

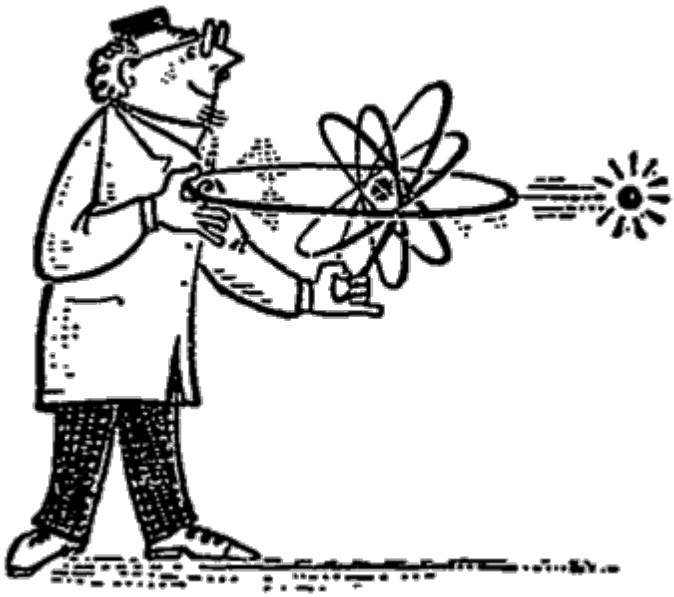
Со времен Максвелла любой старшеклассник знает, что знаменитая череда различных излучений — сейчас сюда относятся гамма-излучение, рентгеновское, ультрафиолетовое, световое, инфракрасное и радио — различается лишь частотами

колебаний, или длинами волн. Природа же их одинакова — это электромагнитные волны. Казалось бы, чего проще, изменяя конструкцию радиопередатчиков, постепенно уменьшать длины волн и привести их в область видимых радиосигналов? Однако ничего не получалось. Добрых полстолетия никакими ухищрениями никому не удавалось создать радиостанцию, работающую на волнах порядка 430–700 миллимикронов — в диапазоне, доступном человеческому глазу. Самая короткая волна, полученная при помощи электромагнитного генератора, была чуть меньше миллиметра, то есть миллиона миллимикронов.

А между тем природа щедро обеспечила ученых сверхкоротковолновыми радиогенераторами. Таковы атомы, точнее, атомы светящихся веществ. По размерам и по мощности они миниатюрны. Зато в смысле простоты конструкции это идеальные радиостанции: число деталей в них сведено до недостижимого в технике минимума — единицы, в крайнем случае, десятки.

Чтобы понять, как посылает свои электромагнитные импульсы такое миниатюрное устройство, надо вспомнить картину энергообмена в атоме, нарисованную еще в начале века Максом Планком и Нильсом Бором. Чем-то эта картина напоминает, образно говоря, стрельбу из пистолета.

Чтобы атом отдал энергию — «выстрелил», его надо вначале «зарядить»: ввести в него энергию со стороны. Если пистолет стреляет только целыми и обладающими одинаковой энергией пулями, то примерно так же «стреляет» и атом. Атом испускает и поглощает электромагнитную энергию не непрерывно, а скачкообразно, очень маленькими порциями, — квантами, или фотонами. Каждая из этих порций совершенно точно отмерена и соответствует определенной частоте колебаний, или длине волны.



Процесс энергообмена в атоме протекает так. Начнем с момента, когда атом «не заряжен», пребывает, как говорят физики, в невозбужденном, основном состоянии. Такой атом не может испускать энергию — он может ее лишь поглощать. Положим, что это и произошло: в атом попал извне квант вполне определенной величины (как правило, атом поглощает лишь один квант, причем соответствующий строго определенной частоте колебаний). Поглотив этот квант, атом в тот же миг скачкообразно переходит в возбужденное состояние. «Пистолет» заряжен. Как же происходит «выстрел»? Оказывается, есть два способа отдачи энергии возбужденным атомом, сопровождающихся переходом его в основное (или в некоторое промежуточное) состояние: спонтанно, то есть самопроизвольно, без вмешательства извне, и вынужденно, под влиянием облучения. В обоих случаях из атома вылетает запасенный им ранее, при возбуждении, квант энергии, но второй способ, как показал еще открывший его Альберт Эйнштейн, эффективнее.

Замечательно, что квант, испущенный атомом в результате вынужденного излучения, ничем не отличается от тех квантов, которые вызвали его излучение. Существенно — позже мы узнаем почему, — что эти кванты совершенно одинаковы: имеют одинаковую частоту, поляризацию и направление распространения. Излученный таким образом квант органически входит в вызвавший его излучение поток и усиливает его.

Второй способ часто называют *индуцированным излучением*. Открыт он был давно — в 1917 году, однако долго оставался

предметом чистой теории. Никому не приходило в голову, что от него может быть какой-нибудь прок. Неожиданно явление индуцированного излучения оказалось дверью в новую область прикладной физики: оно легло в основу действия квантовых генераторов.

Однако об этом мы поговорим несколько позднее. Сперва надо разобраться, почему обычные светящиеся тела до последних лет не удавалось использовать как генераторы световых радиоволн.

Прежде всего надо ясно представить себе, чем электромагнитные волны, излучаемые радиостанцией, отличаются от электромагнитных волн, испускаемых электрической лампой накаливания.

Конечно, это различие связано с длиной волны, но посмотрим внимательнее, в чем оно заключается.

Чтобы лучше разобраться в (честно скажем) не совсем простом вопросе, обратимся к выручалочкам-аналогиям.

Радиостанция излучает чрезвычайно упорядоченные волны, которые можно сравнить с морской зыбью — одна волна в точности похожа на все остальные. Электрическая же лампочка излучает одновременно всевозможные световые волны: здесь нет упорядоченности, здесь хаос. Прежде всего эта хаотичность излучения электрической лампочки связана с тем, что белый свет — это беспорядочная смесь всех цветов радуги, которым соответствуют световые волны разнообразных длин. Их можно уподобить морю в центре циклона, где все бурлит и где в вихре брызг невозможно различить отдельные волны.

Но есть и другая, очень важная сторона этой хаотичности: отдельные волны в излучении электрической лампочки, как говорят физики, *некогерентны* между собой — между ними нет согласованности; это различие между некогерентным и когерентным (согласованным) излучениями похоже на разницу между шумом толпы и пением хора.

Энергия, излучаемая лампой, распределена между всеми длинами волн. Если же мы захотим получить от нее одноцветный свет, например отфильтровав его цветным стеклом, то яркость света окажется очень малой — большая часть энергии затратится на нагревание фильтра.

Рассмотрим еще один пример: величайший естественный светильник нашей части мира — Солнце. Клокочущий «котел» космической энергии отдает с одного квадратного сантиметра своей поверхности около 10 киловатт излучения. Конечно, это немало. Это очень высокая плотность излучения. Но не следует забывать, что речь идет о хаотическом (неупорядоченном), разноволновом излучении. В отличие от радиостанции, отдающей всю энергию на одной частоте, главная фабрика тепла нашей части мира работает на множестве частот.

Чтобы не обременять читателя расчетом, заметим, что если бы можно было выделить полоску шириной 1 мегагерц в области зеленого света, где Солнце излучает максимальную энергию, то обнаружилось бы, что каждый квадратный сантиметр его поверхности производит мощности всего-навсего… одну стотысячную ватта.

Насколько это мало, показывает сравнение солнечной поверхности с искусственными передатчиками, работающими в телевизионном диапазоне спектра радиоволн. Такие передатчики легко вырабатывают 10 тысяч ватт в полосе гораздо более узкой, чем 1 мегагерц. Как источники «одноцветных» радиоволн они мощнее Солнца в миллиарды раз.

Белый свет, излучаемый любым тепловым источником, можно сравнить с шумом. В акустике даже существует термин «белый шум», обозначающий шум, в котором беспорядочно смешаны всевозможные звуки.

Принципиальная разница между световыми неупорядоченными волками и радиоволнами проявляется при попытках сконцентрировать в возможно меньшую область пространства возможно бóльшую электромагнитную энергию.

Лампа накаливания излучает свет во все стороны, и никакая оптическая система не может собрать его в одну точку. В лучшем случае в фокусе линзы получится небольшое изображение накаленной нити. Даже самые совершенные прожекторы дают заметно расходящийся луч, так как источником в них является накаленная нить или электрическая дуга, которая не может быть сделана очень малой.

Упорядоченные электромагнитные волны, излучаемые радиостанцией, легко поддаются управлению. Они могут быть сфокусированы в пучки, расходимость которых определяется лишь размерами применяемых антенн. Чем больше антенна, тем у́же пучок.

Концентрируясь двояко — по направлению в пространстве и по заданной частоте, — радиоволны могут дать такие высокие плотности электромагнитной энергии на одной волне, какие не бывают даже в недрах звезд.

Вот почему ученые так упорно искали новые возможности энергетики именно в радиодиапазоне.

Мне вспоминается один забавный эпизод в архангельском порту. Катерок отвозил нас с берега на пароход, стоявший довольно далеко в море. Один из пассажиров махал рукой провожавшей его женщине, и оба молча улыбались: говорить прощальные слова было явно бесполезно — их заглушил бы шум. Вдруг — это поняли все по изменившемуся виду женщины — она о чем-то вспомнила. Она закричала, замахала рукой, пытаясь что-то объяснить. Увы, мы были слишком далеко, и наш катерок, рокоча мотором, продолжал увеличивать расстояние. И тут случилось нечто, всех нас развеселившее. Неожиданно на берегу наступила тишина. Люди (в основном молодежь, народ сознательный), видимо, догадались, что дело важное, и замолчали. Потом раздалось мощное скандирование хора:

— Клю-чи-от-квар-ти-ры-у-На-за-ро-вых! Клю-чи-от-квар-ти-ры-у-На-за-ро-вых…

Мужчина понял и радостно закивал головой.

Я вспомнил этот случай в связи с рассказом о квантовых усилителях. Чем-то эпизод в архангельском порту напоминает

замену хаотического светового переноса энергии упорядоченным радиоволновым переносом. Любопытны две ступени этого перехода: шум толпы выключается, затем толпа включается вновь, но уже единым хором. Мощность одиночного сигнала резко возрастает, а действие помех исчезает. Чем не намек на теоретическую возможность перейти от светового, неупорядоченного способа передачи на расстояние электромагнитной лучевой энергии к упорядоченному радиоволновому способу!

Вернемся на минуту снова к роману А. Н. Толстого. Можно ли серьезно видеть в фантастическом изобретении инженера Гарина пророческую мысль? Нет, нельзя, конечно. Если перевести на физический язык идею, лежащую в основе произведения Толстого, то это идея концентрации беспорядочной тепловой энергии раскаленных атомов; она бесперспективна. А та идея, которая заложена в современных квантовых генераторах и усилителях, основана совсем на другом физическом явлении: на *резонансе*, на индуцированном — не тепловом — излучении.

Она не имеет ничего общего с идеей «гиперболоида инженера Гарина».

Как же физикам удалось в конце концов решить полувековую задачу — построить генератор «бесшумного» света? Каким воздействием на атомы они заставили их испускать световые кванты, одинаковые по частоте и, как мы сейчас увидим, по направлению (что очень важно для концентрации и передачи больших количеств энергии)?

Проблемой № 1 на этом пути была проблема создания такой материальной среды — твердой, жидкой или газообразной, в которой возбужденные атомы количественно преобладали бы над невозбужденными. Почему? Да потому, что только возбужденные атомы способны излучать энергию. Невозбужденные же атомы, которые способны лишь поглощать энергию, являются, по меткому выражению советского физика Н. Г. Басова, «нахлебниками».

От них надо избавиться, но как? Дело это совсем нелегкое. Ведь каждое вещество состоит из возбужденных и невозбужденных атомов, и хотя число первых возрастает с нагреванием, но сколько бы мы ни поднимали температуру вещества, количество «нахлебников» всегда будет больше количества «рабочих», возбужденных атомов. Поэтому в обычных условиях все тела поглощают кванты, падающие на них извне. Если же тело не облучается, то накопленные им кванты под влиянием спонтанного излучения «высвечиваются» наружу и переходят в тепло.

Надо было как-то перехитрить природу: создать искусственно такую «активную среду», чтобы большинство ее атомов или молекул могло быть возбуждено.

Одно из первых предложений в этом направлении предусматривало создание активной среды в газах. «Почему бы, — задали себе вопрос физики, — не рассортировать газовые молекулы на две группы так, чтобы возбужденные молекулы собрались в узкий пучок, а невозбужденные отклонились бы в сторону?»

Потом появились предложения и в отношении твердой среды. Постепенно проблема № 1, при всей ее сложности, получила свое решение, причем не только принципиальное, но и чисто практическое.

Становилась на очередь проблема № 2: как использовать активную среду, как ее заставить с максимальной быстротой начать излучение? Речь шла о фантастической возможности «размножать» кванты.

Вот тут-то и была извлечена на свет полузабытая, высказанная мимоходом при исследовании другого явления идея Эйнштейна о существовании индуцированного излучения.

Уже в 1951 году три советских физика — В. А. Фабрикант, М. М. Вудынский и Ф. А. Бутаева — изложили в авторской заявке краткую теорию усиления света и радиоволн путем создания активной среды и получения индуцированного излучения. Условия, необходимые для прямого наблюдения такого излучения, Фабрикант сформулировал еще раньше, в 1940–1941 годах, в бытность свою учеником С. И. Вавилова. Но начавшаяся война прервала исследования и задержала создание квантового генератора. Это предложение прошло мимо внимания ученых.

В 1952 году одновременно в СССР (Н. Г. Басов и А. М. Прохоров) и в Америке (Ч. Таунс, Дж. Гордон, Х. Цайгер и отдельно от них Дж. Вебер из Мерилендского университета) был предложен принцип генерации и усиления электромагнитного излучения в квантовых системах — принцип, основанный на создании активной среды и использовании индуцированного излучения.

В 1957–1958 годах советские ученые Н. Г. Басов, Б. М. Вул, Ю. М. Попов и их американские коллеги Ч. Таунс и А. Шавлов независимо друг от друга разработали принципы конструирования квантовых генераторов и усилителей в диапазоне видимого света.

В 1959 году профессора (ныне действительные члены АН СССР) Николай Геннадиевич Басов и Александр Михайлович Прохоров были удостоены Ленинской премии за разработку

нового принципа генерации и усиления радиоволн (создание молекулярных генераторов и усилителей). А в 1964 году за эту же работу им была вручена высшая награда Западного мира — Нобелевская премия. Вместе с ними был награжден и американец Ч. Таунс.

С 1955 года развитие радиофизики пошло семимильными шагами, и квантовые приборы начали ставить рекорды во многих областях науки и техники. Например, был предложен метод, по которому можно построить часы небывалой точности: за десятки тысяч лет непрерывного хода они будут отставать или спешить менее чем на секунду.

Количество конструкций квантовых генераторов все множится, но принцип их работы в основном не изменяется. Описать его можно на примере рубинового генератора, построенного американским физиком Т. Майманом.

Искусственный рубин, который применяется в этом генераторе, представляет собой окись алюминия (корунд). Сам по себе корунд прозрачен. Столь характерный для рубина красный цвет обусловливается атомами хрома, которые в небольшом количестве замещают атомы алюминия и сильно поглощают зеленый свет. Торцы стерженька из рубина строго параллельны. Они очень тщательно отполированы и посеребрены так, что образуют зеркальца, обращенные друг к другу. Одно зеркальное покрытие полупрозрачно. Источниками индуцированного излучения в этом приборе являются атомы хрома, возбуждаемые мощной вспышкой газоразрядной импульсной лампы, дающей широкополосный, так называемый подкачивающий, свет.

Процесс создания при помощи рубина остронаправленного и мощного потока квантов напоминает цепную реакцию образования нейтронов в урановых котлах. Под влиянием поглощенного зеленого света, обладающего большей энергией, чем красный, все большее количество атомов хрома приходит в возбужденное состояние. До некоторого момента рубиновый кристалл будет при этом испускать лишь красное флюоресцентное свечение в сравнительно широком интервале спектра, причем свечение распространится равномерно во все стороны. Кванты, отражающиеся от одной зеркальной стенки к другой, все время увеличиваются в числе: многократно отражаясь, каждый квант столь же многократно проходит сквозь рой возбужденных атомов и вызывает цепную реакцию индуцированного излучения новых таких же квантов.

При этом луч все время сужается, становясь все более мощным. Пучок лучей, распространяющийся между зеркалами вдоль оси кристалла, постепенно подавляет лучи,

распространяющиеся в других направлениях. Плотность энергии в нем повышается, потому что происходят обе концентрации, о которых мы говорили: концентрация по направлению в пространстве и концентрация по частоте колебаний.

Когда эта общая концентрация достигает некоторой критической степени и кристалл начинает генерировать свет, как радиостанция — радиоволну, ослепительная рубиновая молния прокалывает пространство.

Любое вновь открытое физическое явление немедленно вызывает у исследователя вопрос: «Какой в нем прок для человека?»

Какой же прок науке, производству от квантовых генераторов?

Вот, например, часы фантастической точности, которые могут быть созданы с их помощью. Зачем они? Оказывается, они уже сегодня нужны для вождения самолетов и кораблей, для точного измерения больших расстояний. Завтра они понадобятся в межпланетной космонавтике, так как без них невозможно обеспечить точное попадание космических кораблей на другие планеты. Они найдут применение также в науке, в том числе для проверки некоторых утверждений теории относительности.

Фокусировка когерентного излучения в малых объектах позволяет создать высокие концентрации энергии. Новые источники света в миллионы раз превосходят яркость Солнца. Энергия этих источников может быть преобразована в другие виды энергии.

Мы уже говорили о давлении света. Оно обычно невероятно мало и может быть обнаружено лишь очень тонкими лабораторными приборами. А вот рубиновая молния, вырывающаяся из посеребренного торца квантового генератора, способна создать буквально фантастическое давление — порядка миллиона атмосфер.

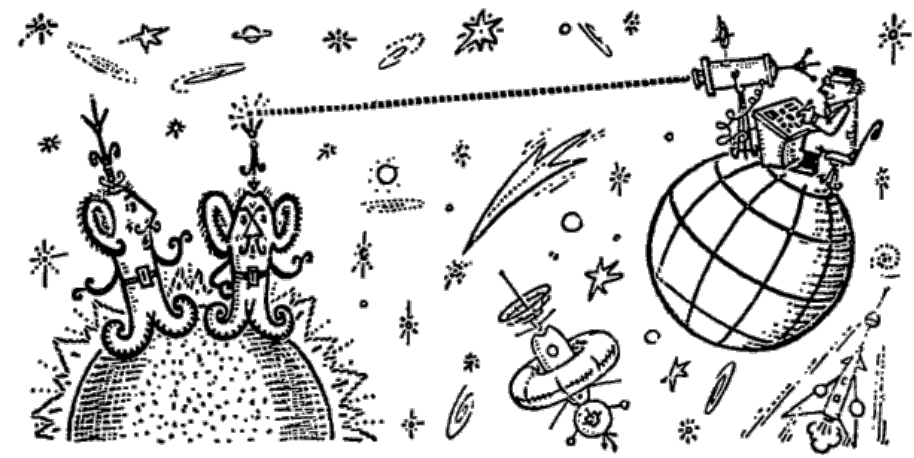
Располагая таким высоким световым давлением, ученые и инженеры смогут осуществить ряд важных в научном и промышленном отношении процессов: исследование свойств веществ в сильных электрических полях, ускорение заряженных частиц, ускорение химических реакций, точную обработку различных материалов. При помощи квантовых генераторов и усилителей могут быть разрешены многие важные проблемы физики твердого тела, спектроскопии, биологии и медицины. Освоение волн видимого диапазона поможет уже в близком будущем создать необычайно высокоскоростные вычислительные машины.

Пучок лучей, испускаемый лазером, расходится гораздо

меньше, чем свет любого другого источника. В опытах по передаче сигналов на 40 километров эти лучи разошлись всего на 30 метров в диаметре. Угол расходимости пучка радиоволн пропорционален длине волны и обратно пропорционален размеру передающей антенны. Это сразу показывает преимущество световых радиостанций перед работающими на более длинных волнах. По подсчетам Басова, чтобы осветить с Земли на Луне площадку в 1 квадратный километр в оптическом диапазоне волн, понадобится прожектор диаметром всего 20–30 сантиметров. В сантиметровом диапазоне радиоволн для этого потребуется антенна диаметром более километра.

Отсюда вывод, что для дальней радиосвязи особенно выгодно пользоваться лазерами. Высчитано, что при помощи существующих уже сегодня квантовых генераторов и усилителей в диапазоне световых волн возможно осуществление радиосвязи на расстояние в несколько световых лет, то есть на расстояние до ближайших звезд.

В печати появились сообщения, что именно этим путем мы скоро сможем ответить на вопрос: «Есть ли там кто-нибудь? Живут ли в глубинах космоса разумные существа, способные принять наши сигналы и как-то на них ответить?» Это сказано в увлечении: сигнал не может быть замечен на фоне звезды, ее шумового излучения. Но вот если бы сигнал посылали с корабля, не излучающего шума, тогда с утверждением, приведенным выше, можно было бы согласиться.



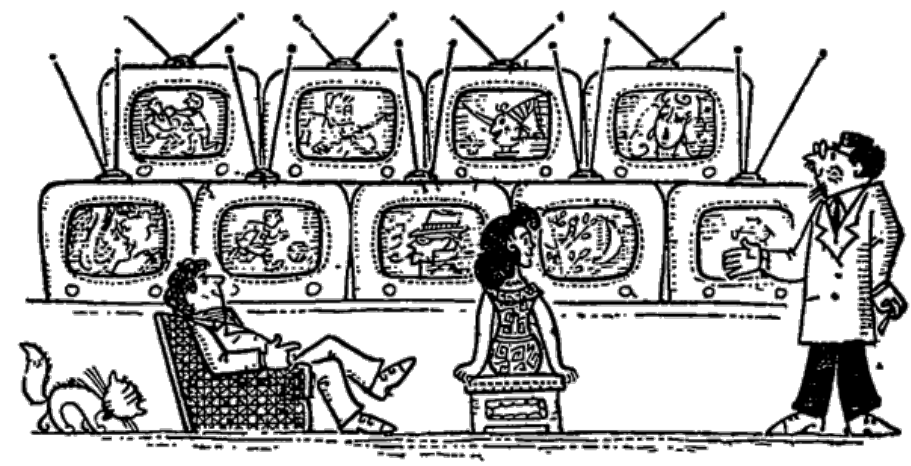
Когда-то люди пользовались оптическим телеграфом. На больших расстояниях одна от другой стояли мачты, на которых то вспыхивали, то угасали световые сигналы. Существовал также оптический телефон. Сейчас даже имена изобретателей этих

устройств забыты. И вдруг, как часто бывает в науке, старая идея возрождается на новый лад. С созданием оптических квантовых генераторов началось радиотехническое освоение нового диапазона сверхкоротких электромагнитных волн.

Осуществление радиосвязи в таком диапазоне позволяет передавать чрезвычайно большой объем информации: принципиально один передатчик световых волн может вести одновременно передачу десятка тысяч телевизионных программ. Вместе с тем благодаря уменьшению расходимости пучка радиоволн и использованию направленности радиосвязи новый способ посылки сигналов позволяет очень сильно повысить дальность радиопередачи.

Когда был изобретен и впервые применен в войне против гитлеровской Германии радар, английские солдаты говорили с уважением о новом вооружении: «Он все может, разве что яичницы не сделает». О лазерах так не скажешь: они способны «зажарить яичницу». Они могут за несколько десятитысячных долей секунды поднять температуру вещества до 8000 градусов.

Не в этом, однако, главное. О квантовых генераторах и усилителях можно сказать, что область их применения почти неограниченна. Это одно из самых многообещающих открытий, сделанных в последние годы.



За символами математики

В наше время правильность новой научной гипотезы проверяется не соответствием ее «очевидности» в житейском смысле. Эта «очевидность» срамилась в прошлом много раз (звезды оказались дальше, чем представлялись, Земля — не плоская и т. п.), и ученые нашли другую форму проверки. Сегодня правильность гипотезы подтверждается и гипотеза становится признанной теорией, если выясняется, что она:

во-первых, не противоречит общим законам физики, в справедливости которых пока нет оснований сомневаться;

во-вторых, подтверждается на опыте, имеет выход, так сказать, на поверхность обыкновенных вещей (ибо нет и никогда не будет настолько абстрактной, отвлеченной научной истины, чтобы она не смогла бы быть рано или поздно проверенной конкретным опытом или наблюдением).

Создание квантовых генераторов — одно из ярких проявлений практической дееспособности квантовой механики, свидетельство того, что эта наука блестяще выдерживает вторую из названных проверок.

Первую проверку — соответствие новой гипотезы общим физическим законам — обычно осуществляют физики-теоретики. Если они приходят к выводу, что есть расхождение с проверенными законами, новую гипотезу обычно тут же и отбрасывают, не тратя лишних сил. Если теоретики признают ее теоретическую правильность, гипотеза поступает на контрольную проверку № 2, то есть проверку опытом.

Теоретическая проверка производится с помощью математики. Пишутся и решаются уравнения. Если все в порядке, эти уравнения сами по себе становятся средством дальнейшего развития новых идей.

Роль математики в физике вообще очень велика — настолько велика, что есть даже часть физики (может быть, вернее сказать — часть математики), называемая *математической физикой* (не смешивать с теоретической физикой!). Деятельность ученых, работающих в области математической физики, имеет следующий характер. Налицо физические идеи, общие физические законы (это и есть теоретическая физика) и выражающие их уравнения; уравнения нужно решать — это дает знание многих важных черт конкретных физических явлений. Но уравнения сложны, решать их — дело огромной трудности. Надо искать эффективные методы их решений, пусть даже только приближенные (как чаще всего и бывает). Здесь нужны как

хорошее понимание физического содержания уравнений, так и большое математическое остроумие.

Хороший пример такой деятельности — труды советского физика академика Владимира Александровича Фока.

Едва идеи квантовой механики проникли в сознание ученых и нашли себе многочисленных и пламенных сторонников, возникло требование дать этой теории математический язык, разработать формулы, которые учитывали бы возможно больше факторов, влияющих на движение микрочастицы, помогали бы рассчитывать это движение. Основная задача квантовой механики — найти законы движения объекта микромиров — требовала, чтобы ее решили на математическом языке.

Задача эта была не из легких. Не только потому, что объекты квантовомеханического исследования нельзя сделать непосредственно видимыми никакими средствами. Но если бы даже можно было построить такой микроскоп, который увеличивал бы протон до размеров футбольного мяча (допустим на мгновение такую возможность), то исследователь не увидел бы ничего привычного, потому что свойства протона, как и всякого микрообъекта, представляют собой дуалистическое (двойственное) сочетание свойств волны и корпускулы. Если же мы увеличим протон до обычного тела не условно, с помощью микроскопа, а на самом деле (допустим и такую невероятную возможность!), то и в этом случае ничего не выиграем, потому что, раздувшись до размеров футбольного мяча, протон немедленно утратит все свои «фантастические» квантовомеханические свойства.

Представим следующую картину. Человек опустился в батискафе в глубину моря и увидел мир необыкновенной красоты. Перед ним, тараща глаза, проплывают причудливые рыбы, кругом, как на ночном небе, горят белые и желтые «звезды» — люминесцентные «фонари» глубоководных созданий. Некоторых из них человек улавливает приборами и извлекает на поверхность. Но тщетно будет он искать на столе лаборатории игру волшебных красок и движений, так поразивших его из окна исследовательского снаряда. Поблекнут краски и умрут движения вместе с теми, кто был их обладателем. Вырванные из родной среды, существа морской стихии перестанут быть самими собой.

Кто хочет изучать жизнь обитателей морей и рек, должен сделаться водолазом. Он должен научиться погружаться в чуждую обстановку, а не тянуть в свою (смертоносную для живущих под водой) представителей иной стихии.

Примерно то же можно сказать о современном физике, работающем в наиболее абстрактной области науки — в квантовой механике. Положение здесь даже много сложнее, чем для ихтиолога. В отличие от своего собрата — ученого, изучающего жизнь морей, — ученый-квантовик имеет дело с «существами», размеры которых не превышают триллионных долей сантиметра и которые «живут» в стихии, несравненно более фантастической, чем водные глубины.

Малость — принципиальное свойство микрочастицы. А с этим свойством связаны все другие, и прежде всего то, что движение микрочастицы весьма существенно зависит от окружающей обстановки.

Увлеченный трудностями, раскрывшимися в мире микрочастиц, В. А. Фок еще в молодые годы решил посвятить свою жизнь исследованию этой необычайной стихии. «Батискафом» для него служили воображение и научная абстракция, а языком, которым он описывал «увиденное» в затаенных недрах вещества, — математические символы и уравнения. Природа разговаривает с нами языком формул, — на нем надо ей задавать вопросы, на нем же ждать ответа.

Еще в 1926 году Фок разработал такие формулы, которые учитывали сперва наличие магнитных полей, а потом также и

увеличение массы частицы, когда ее скорость приближалась к скорости света. Позднее, изучая движение электронов, Фок принял во внимание и наличие других электронов и эффектов, возникающих при взаимодействии с ними.

Ни один физик до того времени не умел достаточно эффективно учитывать, пользуясь языком математики, всех этих весьма существенных обстоятельств, и расчеты, касающиеся микрочастиц, были поневоле очень неточными.

Вершиной творческих успехов В. А. Фока, однако, следует признать его работы, объединенные под туманным для непосвященных названием «Исследования в области квантовой теории поля».

Слово «поле» для той области мира, где разыгрываются квантовомеханические события, было придумано, разумеется, более или менее случайно. С таким же успехом эта область могла бы быть названа океаном, морем или как-нибудь иначе. Главное не в названии, а в его смысле: раз есть волна, значит, должен быть и простор для нее. И уж совсем неважно, как его обозначить в первый раз (важно потом придерживаться раз придуманного термина).

Исследователи пытливо вглядывались в удивительный мир квантов. К каким только математическим ухищрениям они не прибегали, чтобы разобраться, что происходит в микромире! Чего только не придумывали, чтобы можно было предугадать ход событий на его аренах: ведь первая задача науки — научиться предвидеть будущее по событиям настоящего! Положение усложнялось тем, что полей было не одно, а несколько. В зависимости от сорта частиц существуют поля: электромагнитное, мезонное и т. д. Но проникнуть в тайны мира квантов казалось невозможным. Неведомое было закрыто на крепкий замок. Были ясны многие основные физические идеи, но отсутствовал эффективный математический аппарат для решения ряда важных конкретных задач.

Внимательно смотрел на мир невидимок и Владимир Александрович Фок. Долго и напряженно изучал он поведение частиц при их превращениях. Много пришлось бы говорить о всех трудностях, с которыми он столкнулся. Надежды сменялись разочарованиями. Казалось, постигнуть смысл происходящего невозможно: слишком не приспособлен для этой цели человеческий разум, слишком велик груз обычных представлений…

Но вот наконец победа! Фок раскрывает тайны, казавшиеся непостижимыми. Он проникает в недра Неведомого. Он дает важнейшие математические методы решения большого класса

квантовомеханических задач.

Отныне сложные и важные процессы микромира можно рассчитывать, предугадывать изменения, которые происходят в микромире, и делать все это с высокой точностью.

Мировая наука сразу подхватила смелые идеи и методы В. А. Фока и поставила их на вооружение при исследовании взаимодействий мельчайших крупиц материи.

Особенно широкие горизонты раскрылись перед этими методами в квантовой теории поля в годы после второй мировой войны. Если сам Фок вынашивал свои идеи применительно лишь к электромагнитному или электроннопозитронному полю, то они оказались настолько плодотворными и универсальными, что их стали применять и для других полей. Показав, как надо учитывать возможность изменения числа частиц в процессе, Фок облек в математическую форму не только закономерности возникновения или поглощения квантов света при переходе электронов в атоме с одной орбиты на другую, но и некие более общие, применимые и к другим квантам и частицам, закономерности.

Теперь идеи и методы академика Фока широко применяются в различных разделах физики.

Хочу закончить эту главку одним чрезвычайно общим соображением.

Цивилизация, созданная людьми, вполне естественно носит ярко выраженный *антропоморфный*, то есть человекоподобный, очеловеченный характер. Дома, машины, самолеты, книги, автоматические ручки, меры времени и меры веса, симфонии и ритмы танцев, стихи, философия, наука, словом, все на свете, созданное людьми, — все создано для одного-единственного существа — человека. Все приспособлено под его рост, вес, сроки жизни и расписание дня, духовное развитие, духовные потребности, тонкий зрительный и слуховой аппарат, приспособлено в тех диапазонах, в каких живут предельно отличающиеся друг от друга люди.

Ни одно иное существо, как бы разумно оно ни было, не смогло бы без каких-то специальных приспособлений воспользоваться плодами человеческой цивилизации.

Очевидно, аналогичный вывод надо сделать и по отношению к человечеству, если оно когда-нибудь столкнется с высокоорганизованными внеземными существами.

Будет время, и люди перенесутся уже не мысленно, а вполне реально на другие планеты, в другие обстановки и сферы бытия. Почти бесспорно, что они когда-нибудь отыщут в мироздании иные, чем земной, очаги жизни. Не будем говорить о том, будут

ли эти очаги носить следы какой-нибудь цивилизации. Одно бесспорно: кто бы ни жил там — те существа не могут ни в малейшей степени походить на нас. Почти наверняка у человека найдется больше сходства с ящерицей, а может быть, и с деревом, чем с инопланетными существами. Невероятно, чтобы встретилась планета с набором тех же диапазонов, что на Земле: температур, давлений, состава атмосферы, масс живых существ, — с диапазоном жизненных свойств таких существ, их ощущений, чувств опыта и т. п.

Сознание людей потребует какого-то «перевоплощения», отказа от антропоморфности, чтобы понять жителей далеких миров. Может быть, мы уже имеем доказательства того, что люди будущего справятся с такой задачей? Может быть, одно из этих доказательств — то, что ученые находят путь «перевоплощения» для понимания таких миров, как квантовая механика?

Открытие космических возможностей человеческого сознания способно наполнить нас горделивым чувством, дать повод помечтать о новых необъятных горизонтах разума.

Человек, теория относительности и космос

В главке «Масштабные эффекты» мы видели, меняются размеры тела — меняется соотношение сил, действующих на него: одни силы увеличиваются относительно других, другие уменьшаются. Человек, который вздумал бы выявлять законы природы, изучая механическое поведение различных объемов воды, пожалуй, мог бы прийти к выводу, что законы эти различны, и «на уровне росинки» совсем не те, что «на уровне стакана».

Мы видели, почему это неверно. Материальный мир един, едины и управляющие им физические законы. Но так уж он устроен, что на любом «размерном уровне» выпячиваются одни силы и подавляются другие. Резкое уменьшение размеров тел приводит человека в мир, где усиливаются и даже господствуют эффекты, не наблюдаемые в повседневности, хотя они бесспорно есть и здесь. Чтобы их учесть, физики разработали механику микрочастиц — квантовую механику, законы которой в частном случае (при движении больших тел, когда «эффекты малости» приравнивают к нулю) принимают форму обыкновенных законов классической физики.

Оказалось, что и очень резкое увеличение скоростей движения тел делает явными своеобразные эффекты, не наблюдаемые обычно. Их изучает раздел физики, известный под названием «теория относительности».

Пока человек имел дело со скоростями, не превышающими одного-двух (редко больше) километров в секунду, он мог пренебрегать релятивистскими эффектами: они в этом случае исчезающе малы. Успехи атомной физики, описывающей частицы, летящие со скоростями, близкими к световой, уже не допускают подобного пренебрежения.

Что же представляет собой эта знаменитая, но непонятная еще для очень многих физическая теория?

Среди людей, далеких от физики, название теории порой вызывает смутную мысль, что речь идет о чем-то вроде того, что якобы «все в мире относительно». Нет ничего более далекого от истины, чем это утверждение, хотя ссылка на относительность в теории и имеется.

Теория относительности, как мы видели (стр. 75 и далее), состоит из двух частей: *специальной теории относительности и общей теории относительности*, или, как ее теперь часто называют, теории тяготения. Обе части разработаны Альбертом Эйнштейном и интересны, помимо всего прочего, тем, что в их

основе нет ничего нового: только твердо установленные и давно, до Эйнштейна, известные факты. На эту сторону обратил особое внимание еще С. И. Вавилов.

В любой науке наступает момент, когда существующая теория не может объяснить новые явления. Тогда ищут более общую теорию. Теория относительности вобрала в себя классическую физику, не опровергая и не исключая ее.

Создавая первую часть своей теории, Эйнштейн исходил из следующих двух бесспорных, основанных на опыте положений. Одно из них называется обычно (и очень неудачно) принципом относительности: во всех инерциальных системах отсчетов все физические явления протекают по одинаковым законам. Другое основное положение — принцип постоянства скорости света: скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах, она близка к 300 тысячам *км/сек* и не зависит от того, движется ли источник света или покоится.

Можно показать, что оба эти положения противоречат одно другому, если придерживаться обычных представлений о физических свойствах пространства и времени, точнее говоря, представлений, бывших обычными до Эйнштейна.

Более того, тем, прежним представлениям противоречит и одно лишь утверждение о постоянстве скорости света. В самом деле, возьмем пример. Пассажир разгуливает по палубе теплохода, держа в руках электрический фонарик. Сразу получается парадокс. Пассажир движется с различными скоростями по отношению к теплоходу, к берегу, к Солнцу. А по второму положению теории Эйнштейна луч света от его фонарика струится с одной и той же скоростью по отношению и к палубе, и к берегу, и к Солнцу.

Эйнштейн был первым, кто имел мужество сказать, что если оба положения верны, то они не могут быть противоречивыми, что противоречие надо искать в наших представлениях о явлениях природы, о пространстве и времени.

Эйнштейн нашел путь примирения двух принципов. Для этой цели надо было пересмотреть физические понятия пространства и времени, признать за ними свойства, непохожие на те, что признавала классическая физика.

Как результат примирения противоречия родилась, в частности, формула:

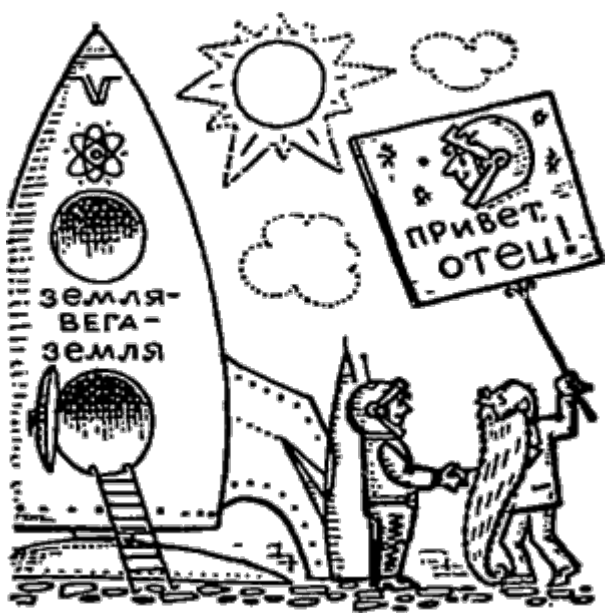
$$E = mc^2,$$

гласящая, что полная энергия, содержащаяся в теле, равна его

массе, помноженной на невыразимо большую величину — квадрат скорости света.

Теория относительности содержит в себе много совершенно фантастических на первый взгляд утверждений. Например, оказывается, что длина движущегося тела сокращается в направлении движения, причем тем больше, чем больше скорость тела приближается к скорости света. Однако масса тела при этом возрастает. Возрастает и длительность явлений. В будущем космическом корабле, летящем со скоростью, близкой к световой, затормозятся все процессы, если измерять их по часам, оставшимся на Земле. Медленнее будет биться сердце, медленнее будут расти растения, перемещаться часовая стрелка, колебаться электроны в атомах и т. д.

Стал широко известен часто приводимый пример, что если молодой человек, оставив годовалого сына, слетает на околосветовой ракете к звезде Вега и через год вернется, то сын его будет старше своего отца: ведь отец жил в замедленном ритме: его год может оказаться равным пятидесяти и более годам людей, оставшихся на Земле.



Все это кажется настолько невероятным, настолько противоречит здравому смыслу, что вначале даже многие физики не соглашались с Эйнштейном. Известен случай, когда один американский профессор, прослушав лекцию творца теории относительности, сказал ему:

— Мой здравый смысл не принимает вашу теорию. Он

отклоняет все, чего нельзя увидеть собственными глазами.

— Ну что ж! — сказал Эйнштейн. — Кладите свой здравый смысл сюда, на стол. Начнем с того, что проверим его наличие.

Общая теория относительности отличается от специальной тем, что наряду с двумя основными положениями специальной теории принимает еще один — третий — принцип: эквивалентность (равноценность) сил тяготения и инерционных сил.

На крутом повороте дороги вас прижало к стенке автомобиля. «Инерция!» — говорите вы лаконично другу, сидящему рядом с вами и о чем-то мечтающему с закрытыми глазами. «Какая же это инерция, — может возразить ваш друг, не открывая глаз, — когда мы неподвижны? Сбоку появилось массивное тело, и оно притягивает нас».

При всей фантастичности ответа, вы не сможете переубедить приятеля, если он не откроет глаз или если окна автомобиля хорошо завешены. Приборы, захваченные для измерения инерции, ничего вам не дадут, потому что и на приборах по измерению силы тяжести будет то же количество килограммов, действующих в ту же сторону. В этом состоит наглядный смысл принципа эквивалентности инерции и тяготения.

Мир общей теории относительности отличается от мира специальной теории относительности тем, что во втором движение систем отсчета друг относительно друга происходит прямолинейно и равномерно, иначе говоря, без ускорения.

Первый же учитывает общий случай: когда системы отсчета движутся и с ускорениями, например вращаются. Космический корабль с установившимся равномерным движением по прямой подчиняется специальной теории относительности. В моменты же набора скорости, полета по кривой и поворота на обратный курс к нему надо применить выводы общей теории Эйнштейна.

Теория относительности гласит, что релятивистские эффекты времени возникают не только за счет создания больших или меньших разниц равномерных скоростей двух тел. Время замедляется и на более массивных телах (например, на Солнце или на белых карликах). Наоборот, на небольших телах длительности явлений сокращаются: часы на искусственных спутниках убыстряют ход по сравнению с часами на Земле.

Эквивалентность тяготения и инерции проявляет себя в том, что совсем не обязательно увеличивать массу тела, чтобы получить на нем релятивистские эффекты: достаточно придать ему большое ускорение. «Искусственные килограммы» — за счет ускорения — удлинят промежутки времени на ракете так же, как удлинили бы естественные килограммы за счет роста массы.

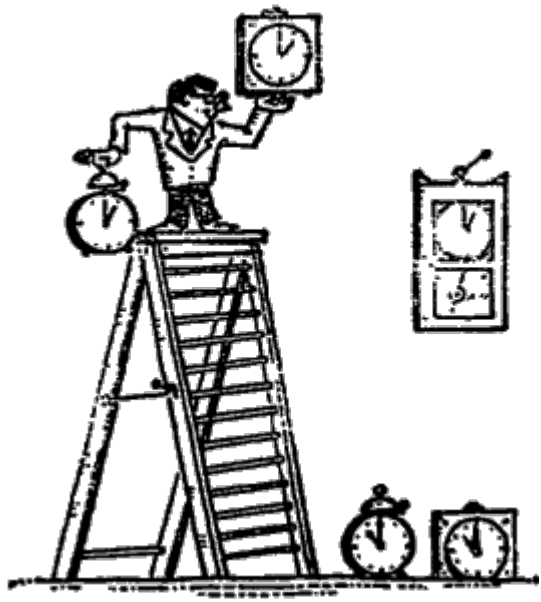
Самым убедительным подтверждением правильности физической теории является, конечно, опыт. Какими же опытами проверялась теория относительности?

Пожалуй, самыми известными из них являются те, что связаны с наблюдением лучей звезд у края солнечного диска во время затмений. Если световые волны обладают, как утверждает теория, массой, то они, по закону всемирного тяготения, должны притягиваться другими массами, допустим Солнца. Так в действительности и происходит. Наблюдения во время солнечных затмений показывают, что лучи звезд отклоняются от прямолинейного пути, проходя мимо нашего светила. Это выражается в кажущемся смещении звезд, расположенных в непосредственной близости к краю Солнца.

Другая важная проверка теории Эйнштейна касалась того утверждения общей теории относительности, которое гласило, что свет, обладая инертной массой, частично теряет энергию, чтобы вырваться из поля тяготения испускающего его тела (например, звезды). Физика утверждает, что при этом должно произойти «покраснение» света, точнее говоря, некоторое удлинение световых волн и сдвиг их в красную сторону спектра. Явление это называется *гравитационным красным смещением*.

И что же! Такое смещение на самом деле наблюдается в спектральных линиях Солнца и тяжелых звезд.

Интересная проверка эффекта замедления хода часов в поле силы тяжести была проделана совсем недавно (но уже многократно) с помощью точнейшего прибора для измерения частот, основанного на так называемом эффекте Мёссбауэра (по имени молодого физика из ФРГ Рудольфа Мёссбауэра, работающего теперь в США и открывшего этот эффект). Из теории относительности следует, например, что если двое совершенно одинаковых часов поместить друг от друга на расстоянии 1 метр по высоте, то нижние часы должны отставать от верхних на 10^{-16} секунды, так как они находятся ближе к центру Земли и на них действует большая сила тяготения, чем на верхние часы. Эффект Мёссбауэра позволил найти такую разницу!



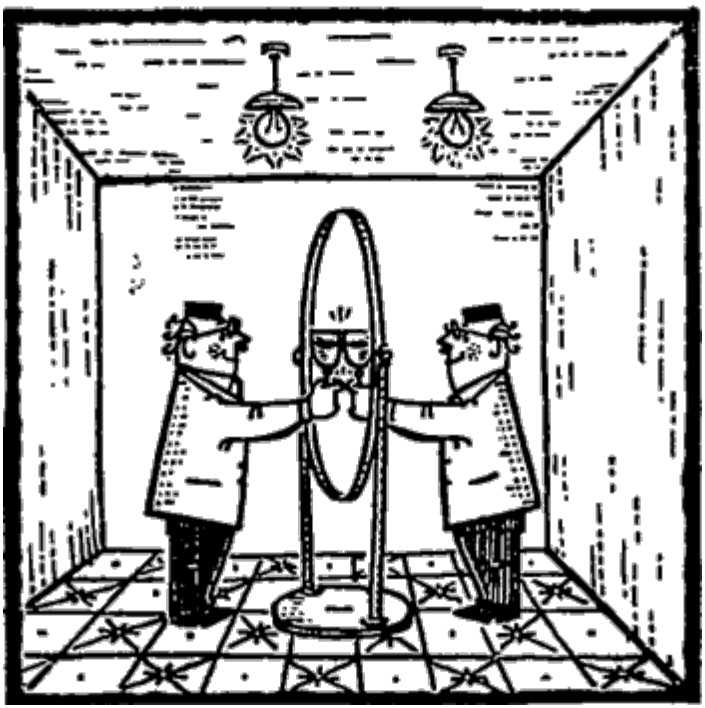
Можно было бы назвать и другие примеры успешных проверок теории относительности, но мы ограничимся приведенными. Скажем лишь одно.

Положения теории относительности теперь настолько убедительно подтверждены, что к ним нельзя относиться иначе, как к законам природы. Допустить нарушение какого-нибудь из этих положений можно лишь с попутным допущением нарушения того порядка вещей в природе, который нам представляется незыблемым.

Правда, среди нефизиков встречаются активные противники идей Эйнштейна. Но доводы их — по логике — не отличаются от тех, что приводили в свое время противники шарообразности Земли.

В науке спор о справедливости теории относительности решен давно, и решен на опыте: теория эта верна. Если же она не в ладах со «здравым смыслом», то тем хуже тому «здравому смыслу», который противоречит научным выводам. Важно, что теория в ладах с экспериментом, с практикой, а, как известно, нет критерия истинности более надежного, чем этот чрезвычайно строгий материалистический критерий.

Как законы сохранения подняли престиж неизменного в природе



Постоянное в потоке

Заканчивая чтение книги, многие, возможно, подумают: а не получается ли все же так, что в том древнем споре мудрецов (см. «Почерк природы»), вопреки утверждению автора, будто «все оказались правы», в действительности взяли верх сторонники той точки зрения, что природа — это вечное движение и нет в ней ровно никакого постоянства: уж слишком многочисленны и ярки примеры изменений, происходящих в ней.

Невозможно умалить глубины мышления сторонников этой точки зрения (назовем здесь некоторых из философов): Фалеса, Анаксимандра, Анаксимена, Гераклита Эфесского, Левкиппа, Демокрита. Все же, утверждаем это еще раз, были правы их противники — те, кто говорил о неизменном и стабильном в вечно изменяющемся мире: Анаксагор, Эмпедокл, Эпикур, Лукреций. Живи они в наши дни, они нашли бы особо убедительное подтверждение своей точки зрения в законах сохранения.

Собственно говоря, идея сохранения таится более или менее во многих законах физики. Возьмите первый закон движения Ньютона. Инерция по самому своему существу есть стремление к неизменности, неизменности настоящего положения.

Идея сохранения таится и в третьем законе Ньютона (нужно сказать, что он вообще представляет собой следствие в механике

одного из законов сохранения, закона сохранения импульса). Мгновенно создавая противодействующую силу, природа словно печется о вечном равновесии (пусть иногда и динамическом) в своем Великом Царстве. Словно она боится, что неуравновешенная сила что-то вынесет из ее кладовых.

Законы сохранения — очень фундаментальные, очень общие законы физики. Они выражают несотворимость и неуничтожимость материи и ее движения. Но что значит здесь «несотворимость и неуничтожимость»? С естественнонаучной точки зрения это — постоянство некоторых характеризующих материю и ее движение величин при тех или иных взаимодействиях, превращениях, движениях. Постоянство таких атрибутов (неотъемлемых признаков) возводит их в ранг основных величин, а изучение их уточняет физическую картину объективно существующей реальности.

Не сразу удалось узнать известные сегодня неизменные характеристики материи и ее движения. Даже постоянство массы (в пределах справедливых для классической физики) — ныне для любого школьника очевиднейшее свойство — выявилось не «одним прекрасным утром». Долго были разные точки зрения на то, «куда земля девается, когда кол вбивается». Прогресс химии многое прояснил в проблеме сохранения массы. Когда же в нашем веке атомная теория показала, что химические законы всего лишь следствие законов физики, дальнейшее уточнение числа и формулировок законов сохранения стало привилегией физиков.

Исторически первой общей формулировкой принципа сохранения — «сохранения вещества и движения» — была формулировка М. В. Ломоносова.

«Но все встречающиеся в природе изменения, — писал он Леонарду Эйлеру 5 июля 1748 года, — происходят так, что если к чему-либо нечто прибавилось, то это отнимется у чего-то другого. Так, сколько материи прибавляется к какому-либо телу, столько же теряется у другого… Так как это всеобщий закон природы, то он распространяется и на правила движения: тело, которое своим толчком возбуждает другое к движению, столько же теряет от своего движения, сколько сообщает другому, им двинутому».

Аккуратной, чуждой равно расточительству и наживе изображена здесь вездесущая природа: «Что у меня — тем пользуюсь; своим не поступлюсь, добавок не желаю».

Теперь закон сохранения вещества (точнее, массы), впервые высказанный Ломоносовым, объединен с законом сохранения энергии, в открытии которого в 1841 году основная роль принадлежала немецкому врачу Юлиусу Роберту Майеру. В основе названного объединения — соотношение специальной

теории относительности $E = mc^2$, показывающее, что каждому изменению энергии (E) тела соответствует вполне определенное изменение его массы (m) и обратно.

Так как постоянный коэффициент здесь (c^2 — квадрат скорости света) колоссальная величина, то из этого соотношения вытекает, что уже ничтожное изменение массы сопровождается огромным изменением энергии.

С законом сохранения энергии тесно связан закон сохранения количества движения, или импульса. Импульс — это произведение массы на скорость. Подобно скорости, импульс тоже вектор, то есть величина, определяемая не только абсолютным значением, но и направлением. Обе величины характеризуют движение, но закон сохранения импульса есть, а закона сохранения скорости не существует. Это означает, что скорость рангом ниже импульса, что она не фундаментальная величина, а ей место среди других величин, вроде перемещений и т. д.

В школе изучают закон сохранения импульса под названием третьего закона Ньютона, гласящего, что «действие всегда по величине равно, а по направлению противоположно противодействию». Не менее распространена, однако, и другая формулировка: «в отсутствие внешних сил полный импульс замкнутой системы частиц неизменен». Подчиняясь этому закону, импульс ружья при отдаче сразу после выстрела равен и противоположен по знаку импульсу пули; бегущий человек отталкивает ногами Землю назад (стань наша планета на миг по массе сравнима с ним, он вынудил бы ее крутиться наперекор извечному движению) и т. д.

Среди других важнейших законов сохранения — закон сохранения момента импульса (в простом случае тела, вращающегося по окружности, величина момента импульса равна произведению импульса на радиус окружности, по которой вращается тело).

Закон сохранения момента импульса утверждает, что полный момент импульса замкнутой системы остается неизменным. Если вы захотите испытать действие этого закона на себе, сядьте с двумя гирями в руках на винтовой «пианинный» стул. Раскрутитесь и постарайтесь вращаться, не опираясь ни на что. Горизонтально вытянув руки — с гирей в каждой из них, — вы будете вращаться довольно медленно. А потом согните руки, приблизьте их к груди. Скорость вашего вращения резко возрастет.

Фигуристы, выступающие на коньках, акробаты на трапеции, балерины, делающие пируэт, — все они с успехом применяют

закон сохранения момента импульса, хотя, может быть, не догадываются об этом.

Среди широкоизвестных законов сохранения — закон сохранения энергии, о котором мы уже говорили. Физика называет и другие законы сохранения, например закон сохранения электрического заряда. Он гласит, что заряд не может ни появиться, ни уничтожиться; одна незаряженная нейтральная частица не в состоянии, например, превратиться в одну заряженную, хотя бы это превращение не противоречило всем остальным законам сохранения.

Галерея генералиссимусов

Квантовая механика показала, что и в микромире справедливы все законы сохранения, открытые для мира больших тел (хотя голоса сомнений в этом звучали далее в кабинетах корифеев). Вместе с тем в микромире выявились новые законы сохранения, такие, например, как сохранение «барионного заряда» и «лептонного заряда».

Барионами называются самые тяжелые элементарные частицы — протоны, нейтроны, гипероны и их античастицы; все они, за исключением протона и антипротона, распадаются сами собой и превращаются в конце концов в протоны, то есть снова в барионы; это одно из проявлений закона сохранения числа барионов или барионного заряда. В главке «Почерк природы» мы говорили, что благодаря этому закону частицы, из которых состоят все тела, никогда не смогут полностью превратиться в электроны и нейтрино.

Лептонами называются самые легкие элементарные частицы — нейтрино, электроны и их античастицы.

Последние исследования показали, что, кроме точных законов сохранения, существуют еще и приближенные, неточные законы сохранения. Бывает так, что некоторая физическая величина приблизительно сохраняется, если процессы идут очень быстро и заканчиваются в короткое время. Но в процессах

медленных эта величина не сохраняется.

Типичным примером является такая квантовомеханическая, встречающаяся только в микромире и широкой публике неизвестная величина, как *странность*. Установлено совершенно строго, что если процесс протекает приблизительно за 10^{-23} секунды, то странность сохраняется. А в иных, более медленных процессах, протекающих за время приблизительно 10^{-10} секунды (в десять триллионов раз медленнее первых), странность не сохраняется.

Такая же картина наблюдается и для другой квантово-механической величины, так называемой *четности*. И эта величина сохраняется (во всяком случае, приблизительно) в быстрых процессах и не сохраняется в процессах медленных.

У вдумчивого читателя может возникнуть вопрос: «А от чего, собственно, зависит скорость процессов в микромире?»

Скорость процессов в микромире зависит в основном от рода сил, вызывающих этот процесс.

Мы говорили, что и во времена Ньютона и вплоть до самого начала нашего века ученым было известно только два рода фундаментальных сил природы: электромагнитные и тяготения. Все остальные, с которыми люди сталкивались в своей практике, были лишь следствием этих основных сил.

Микромир открыл перед человеческим взором еще два рода сил.

Одни возникают, когда два постепенно сближающиеся нуклона (протон — протон, нейтрон — нейтрон или протон — нейтрон, неважно, в каком парном сочетании) дойдут до расстояния $2{,}5 \cdot 10^{-13}$ сантиметра, они внезапно «почувствуют» такое сильное взаимное притяжение, что перед ним померкнет всякая другая сила. Этим силам дали название «сильных взаимодействий», и именно им обязаны быстрые процессы своим происхождением.

Другой род сил возникает при самопроизвольном распаде некоторых ядер с выделением электронов (или бета-распаде). Силы, выталкивающие электроны из ядер, много слабее сильных взаимодействий, и их назвали слабыми взаимодействиями.

Таким образом, в микромире действуют (если не считать исчезающе малых гравитационных сил) три рода сил: сильные взаимодействия, электромагнитные силы и слабые взаимодействия.

Силы действуют, притягивают или отталкивают частицы и обусловливают, как мы видели на примерах, действие или бездействие некоторых приближенных законов сохранения.

Соберем все наиболее важные законы сохранения вместе и

назовем, дав самую краткую характеристику там, где это требуется:

Суммарный закон сохранения массы и энергии.

Закон сохранения импульса, или количества движения.

Закон сохранения момента импульса.

Закон сохранения электрического заряда.

Закон сохранения тяжелых частиц (барионов).

Закон сохранения легких частиц (лептонов).

Закон сохранения изотопического спина.

«Спином» (от английского слова «spin» — «кружение», «верчение») в физике называется величина, характеризующая, говоря нагляднее, ее собственный механический вращательный момент. Закон сохранения изотопического спина — квантовомеханический закон, справедливый лишь для сильных взаимодействий. Он говорит, что силы, действующие между двумя протонами, совершенно одинаковы с силами, действующими между протоном и нейтроном. Он подчеркивает, что для этих частиц электрический заряд не играет никакой роли (вспомните, что протон заряжен положительно, а нейтрон, как показывает его название, не имеет заряда). Поэтому указанный закон сохранения называют также *законом зарядовой независимости*. Из-за некоторого влияния электромагнитных сил закон сохранения изотопического спина может нарушаться в пределах до одного процента. То есть он относится к приближенным законам.

Закон сохранения странности. Квантовомеханический закон, справедливый для сильных и электромагнитных взаимодействий, но нарушающийся при слабых взаимодействиях.

Закон симметрии античастиц. Как и предыдущий закон, он нарушается при слабых взаимодействиях.

Закон сохранения четности. Тоже нарушается при слабых взаимодействиях.

Закон общей симметрии частиц — античастиц. Согласно этому закону, если любой физический эксперимент отразить в зеркале и если, кроме того, заменить все частицы соответствующими античастицами, нельзя принципиально сказать: отраженный или реальный опыт виден в зеркале. Полагают, что этот закон сохранения справедлив для всех взаимодействий.

Законы сохранения и симметрия мира

Одним из очень интересных вопросов для физиков последних двух поколений был вопрос: существует ли какая-нибудь связь между другими общими свойствами Вселенной и законами сохранения? Оказывается, существует, и самая непосредственная — она основывается на симметриях мира во времени и пространстве.

Первая из симметрий называется «однородностью времени»; неважно, когда начинается какой-либо физический процесс (если не обращать внимания на удобства экспериментатора): природа не изменится часом или годом позже против первоначального момента. Вторая и третья симметрии относятся к пространству. «Однородность пространства» означает, что законы физики одинаковы во всех местах Вселенной — на Земле, на Сириусе, в районе созвездия Лебедь и т. д. «Изотропность пространства» означает, что в пространстве все направления равноценны (этим, между прочим, пространство отличается от времени, у которого есть одно привилегированное направление — вперед).

Выяснилось, что из каждого указанного свойства симметрии вытекает «свой» закон сохранения. Как показала еще в 1918 году немка математик Эмми Нетер, из однородности времени следует закон сохранения энергии, из однородности пространства — закон сохранения импульса, из изотропности пространства — закон сохранения момента импульса.

А что, если вдруг окажется, что свойства пространства — времени не таковы, как мы предполагаем? Нарушатся ли в этом случае наши законы сохранения?

Правильный ответ здесь, вероятно, таков: могут «разрушиться» лишь старые формулировки; потребуются новые формулировки. Принципы сохранения останутся, только выраженные точнее. Или они перейдут из категории точных принципов в категорию приблизительных. И все равно будут отражать постоянное в природе.

Хороший пример — недавняя сенсационная история с опровержением так называемого закона сохранения четности.

Этот закон был открыт для частиц микромира, основываясь на признании однородности и изотропности пространства, взятых вместе. Такое сочетание приводило к «зеркальной симметрии» — предположению, что законы природы не изменятся, если заменить все явления на их зеркальные отражения. Это значит, что, «правое» и «левое» равноценны. Ситуация напоминает ту, как если бы мы посмотрели на свое отражение в зеркале и вдруг узнали, что перед нами не зеркало, а окно. Мы увидим собственного двойника, только все, что у нас справа, — у него будет слева, и наоборот. Он будет повторять все наши действия «зеркально» и даже не почувствует разницы от того, что живет в «зазеркалье».

Так, во всяком случае, предполагалось, пока два американских физика Ли Дзун-дао и Янг Чжэнь-нин не открыли в 1956 году, что природа в некоторых случаях прекрасно разбирается, где правая, а где левая сторона: зеркальный распад некоторых частиц вовсе не совпадал с распадом «по сю сторону зеркальной плоскости». В природе обнаружилась несимметрия.

Это было убийством старого закона сохранения четности. Собственно говоря, кризис до конца не преодолен и поныне. Все же напряжение значительно разрядилось. Этим физика обязана советскому ученому академику Льву Давидовичу Ландау.

Ландау высказал идею, согласно которой нарушение симметрии наблюдается лишь потому, что вещество рассматривается отдельно от антивещества, то есть вещества, состоящего из частиц, противоположных тем, из которых состоит вещество нашей части мира. Инвариантность (неизменность) законов физических явлений восстановится, если зеркальное отражение сочетается с заменой частиц на античастицы, то есть если будет произведена, как говорят физики, «комбинированная инверсия». Если идея Ландау верна, то наш «зазеркальный человек» должен состоять не из протонов, нейтронов и электронов, как мы и все тела нашего мира, а из антипротонов, антинейтронов и позитронов.

Исследование законов симметрии мира продолжается, а это значит, что далеко не закончен еще и «свод законов сохранения».

Будущее сулит интересные находки, и, как знать, сколько удивительных сюрпризов еще встретим мы на этом продолжающемся пути.

Возвращение чародея

Почему-то многие убеждены, что чем человек взрослее, тем меньше для него чудес. Чудеса, мол, остаются в сказках, а взрослому они ни к чему. Умудренные пережитым, наученные опытом и знаниями, люди не верят больше сказкам.

Нет утверждения ошибочнее. В действительности волшебный мир у взрослого богаче. Ибо не сказка, а окружающая природа — главная обитель чудесного. Разве жил на свете сказочник, который напридумывал бы столько удивительных миров, такие необыкновенные превращения, какие есть на самом деле!

Взрослеть — значит умнеть (во всяком случае, большей частью). А чем человек умнее, тем лучше видит не только свое знание, но и свое незнание. Притягательная сила непонятного увеличивается для него, тайна все настойчивее манит возможностью разгадки.

Ум — это свеча, озаряющая ночь Неведомого. Когда все ясно, ее можно бы и не зажигать: свеча горит ярко в ночи, а на фоне Солнца ее лучи тускнеют. Только так уж получается, что всегда «все ясно» одним лишь глупым: Солнце сидят и они, а безбрежная чернота окружающего пространства для них сокрыта.

Когда-то на Земле царило беспредельное всеведение. Чудес не было никаких. Для существ, живущих на Земле, все было элементарно просто: трава, вода, хищник, детеныш, которого надо защищать. Потом появился человек. С умения видеть ночь началось умение озарять ее лучами света и надежды. Человек оторвался от животных, научившись трудиться и удивляться призракам. И не в том суть, что они его пугали, а в том, что пробуждали в нем непокорный дух, стремление рассеять тени мрака.

Великая истина бытия в том, что все, что было с родом, так или иначе повторяется и с индивидом.

Человек раскрыл впервые осмысленно глаза, и тотчас к нему приходит добрый чародей. Как на заре веков, он вновь раскидывает над вспыхнувшим сознанием шатер волшебных грез. И вновь, как некогда перед отцом и дедом, переливаясь красками, проходят перед юным человеком картины дивных сказок, вновь зовут куда-то издалека родные голоса.

Нет, не в одной реальности — в Стране Несбыточного тоже — формируется человек. Три первые свои открытия делает он там: во-первых, что не сила, а находчивость сильнее; во-вторых, что закономерность правит миром и, в-третьих, что истина вечна, «давным-давно» ее уж знали.

Конечно, он этого еще не понимает. Но не о первом ли говорит обычная ситуация — бедный, но разумный успешно борется с могучим, но тупым! Не о втором ли — обязательная победа добра над злом. Не о третьем ли — убедительность для малыша морали сказки, придуманной, возможно, тысячу лет назад.

На добрую, подготовленную почву падают потом зерна научных истин: вектор «больше», чем скаляр; все строго следует естественным законам; человек правильно видит природу, и то, о чем он догадался раньше, стало составной частью истины на последнем рубеже.

Вот так и соединяются грезы с жизнью. Тот, кто поверил еще сказке, что сила в разуме, потом и вооруженный знаниями будет ценить не грубый натиск на природу, а умное ее преобразование. Второй закон всех сказок — «победа правильного над неправильным» — закон и жизни: где бы ни работал человек, он должен постоянно помнить это и стараться никогда ни в чем не совершать ошибок. Третья сказочная идея — «истина вечна» — уж не такая сказочная. Было бы иначе — каждому поколению пришлось бы заново открывать все истины науки: люди двигались бы не вперед, а, скорее, пожалуй, пятились к пещерам предков.

Наука не отвергает сказки, ока ее лишь дополняет, развивает и делает еще прекраснее. Наука — это та же сказка, но научившаяся читать, считать, потом и решать сложнейшие уравнения.

Чародей возвращается с наукой. Мир грез не иссякает для человека.

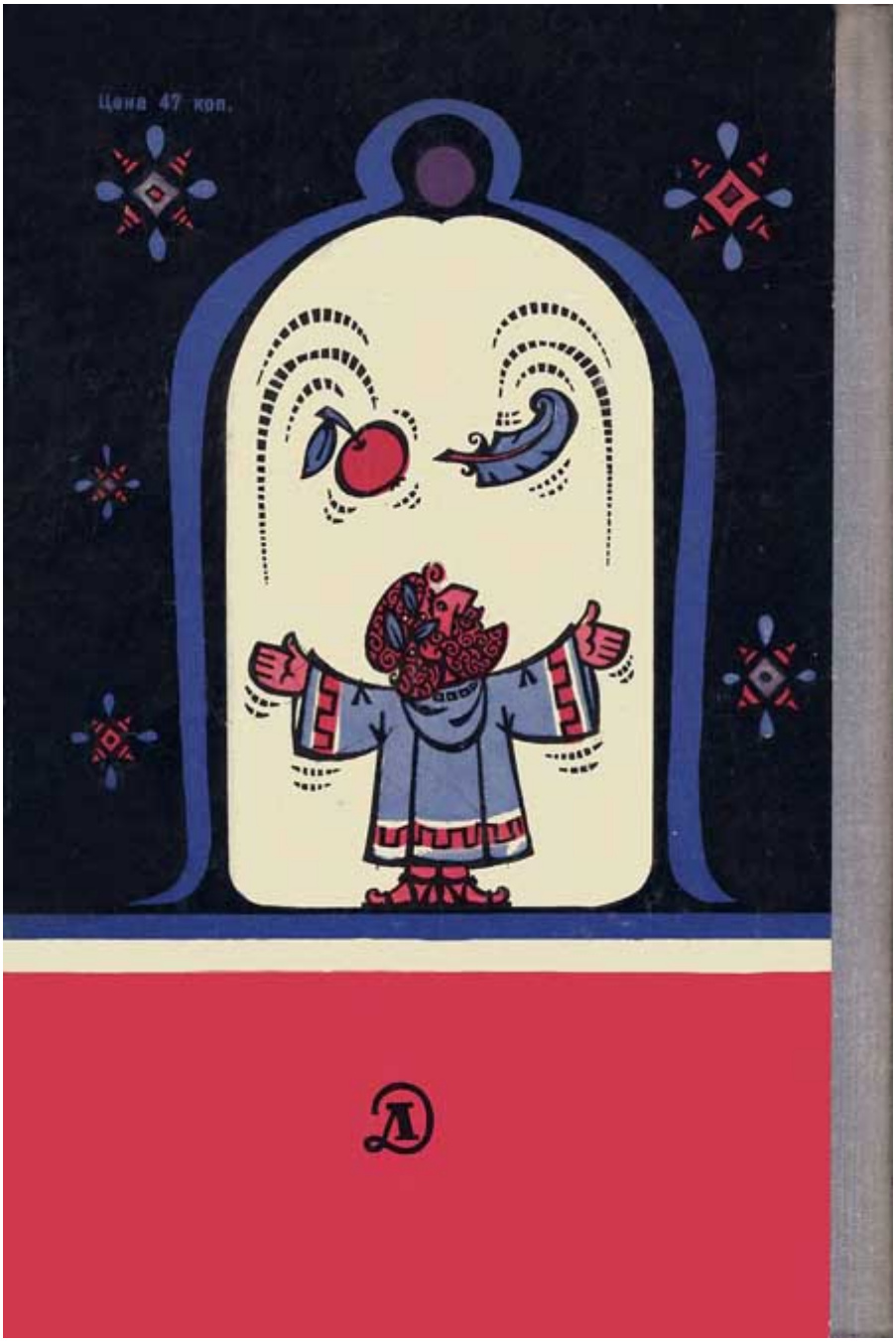
Кое-что обо всем этом я и рассказал в своей книге.

Я пытался, как мог, наделить душу юного читателя мечтами, разум — мыслями, а сердце — воспоминаниями.

Содержание

Как человек учился изучать природу
Бесстрашие ка заре… 5
Как ищут истину… 7
Великая сила «пустяков»… 11
Ненасытность науки… 14
Труднее или легче сегодня изучать науку?… 18
Ненасытность разума… 24
Открытия не умирают… 28
Наукой должны заниматься только честные, добрые люди… 31
Как приближенные представления о движении становились все точнее
Почерк природы… 36
Истинность предметных представлений… 40
Аристотель и Галилей… 44
«Быстрый разумом»… 48

Законы Ньютона… 49
«Покорный вектор» — величайшее изобретение человечества… 60
Тяготение в элементарном смысле… 69
«Вождь Великой Относительности»… 73
Ограниченность классической механики… 75
Как познавались законы и открывались тайники энергии
Путаница и разъяснение понятий… 80
Превращение энергии… 85
Красный цвет… 90
Три качества… 93
Спектр энергии… 98
Беспорядок, который нас пугает, а должен бы, напротив, радовать 111
Как в новых формах возродилось древнее учение о четырех стихиях
Облака — начало и примитив всего… 118
Твердое — первое состояние вещества… 126
Жидкое — второе состояние вещества… 132
Газообразное — третье состояние вещества… 138
Плазменное — четвертое состояние вещества… 140
Волшебный вкус квинтэссенции… 143
Как человеческая мысль преодолела барьер невидимого мира
Масштабные эффекты… 150
Три бесконечности учения о мерах… 156
В мире квантов… 157
С. И. Вавилов и предвидение открытий… 169
Рубиновая молния… 171
За символами математики… 185
Человек, теория относительности и космос… 190
Как законы сохранения подняли престиж неизменного в природе
Постоянное в потоке… 196
Галерея генералиссимусов… 199
Законы сохранения и симметрия мира… 202
Возвращение чародея… 204



notes

Примечания

1

К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. XII, изд. 2-е, 1958, стр. 4.

2

Взрыв этот в районе Зондского пролива (Индонезия) был слышен на расстоянии до 3 тысяч километров, а возникшая в результате взрыва морская волна высотой до 36 метров обошла весь земной шар. Только на прилегающих к месту взрыва островах — Яве, Суматре и других — погибло около 50 тысяч человек.